



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Institut für  
Fertigungstechnik und  
Photonische Technologien



## Diplomarbeit

# Analyse der Datenerfassung und - speicherung an einer Extrusionslinie

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-  
Ingenieurs (Dipl.-Ing. oder DI) unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dipl. Ing. Dr. Bleicher**

(Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Maximilian Satala**

Mat.Nr.: 01225242

Wien, im August 2021

---

Maximilian, Satala

Ich nehme zur Kenntnis, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

# Analyse der Datenerfassung und - speicherung an einer Extrusionslinie

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

## *Eidesstattliche Erklärung*

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Wien, im August 2021

---

Maximilian, Satala

## Kurzfassung

Begriffe wie Cyber Physical System und Digital Twin (DT) sind, bedingt durch die Industrie 4.0 im gegenwärtigen Zeitalter der Digitalisierung, auffallend wichtige Themen. Eine schnellere Markteinführung neuer Produkte, deutliche Kostenreduktion bei der Entwicklung und Planung sollen ermöglicht werden. Der Einsatz von DT ist in der heutigen industriellen Produktion weit verbreitet, allerdings zeigt die Realität, dass es nicht den einen „idealen“ Digitalen Zwilling gibt, vielmehr existieren diverse Anwendungsfälle solcher Konzepte. Für ein besseres Verständnis dieser stetig wachsenden Themen, werden diese Begriffe anhand des Produktionsbereiches der Kautschukextrusion vorgestellt.

In Kooperation mit dem Unternehmen Semperit Techn. Produkte GesmbH wurde der Herstellungsprozess der Extrusion anhand von zwei ausgewählten Extrusionslinien genauer betrachtet. Diese Diplomarbeit fokussiert die Aspekte der Datenerfassung und -speicherung solcher industriellen Produktionsanlagen. Ziel war es die derzeitigen Daten an der Produktionslinien zu erfassen und im weiteren Schritt diese mit den Key-Process-Parametern abzugleichen. Im weiteren Verlauf wurde der Weg der jeweiligen Datenframes vom Ursprungsort bis hin zur Archivierung in einer Datenbank visualisiert. Im letzten Abschnitt sind verschiedene Konzepte der Datenerfassung und -speicherung für die benötigten Echtzeitsysteme vorgestellt worden. Diese Konzepte sollen für darauffolgende Projekte eine Unterstützung bei der Auswahl der gewünschten Lösung verschaffen. Dabei wurde speziell auf die heutigen Herausforderungen der vierten Industriellen Revolution (Industrie 4.0) genauer eingegangen.

## Abstract

Terms such as Cyber Physical System and Digital Twin (DT) are due to Industry 4.0 in the current age of digitalization crucially important topics. A faster market launch of new products, significant cost reductions in development and planning are promised to be made possible. The use of DT is widespread in today's industrial production, but the reality shows that there is no such thing as an “ideal” DT. Rather there are a wide variety of applications for such concepts. For a better understanding of these increasingly growing topics these terms are presented based on the production area of rubber extrusion.

In cooperation with Semperit Techn. Produkte GesmbH, the extrusion manufacturing process was examined more closely by investigating two specifically selected extrusion lines. This diploma thesis focuses on the aspects of data acquisition and data storage of such industrial production systems. The main objective has been to record the current data on the production lines and compare them afterwards with the predefined key process parameters. In the further course of this thesis, the path of the individual data frames was visualized from the place of origin to a memory location in a database. In the last section, various concepts of data acquisition and data storage for the required real-time systems have been presented. The principles behind these concepts are to provide support in the decision making of the desired solution for subsequent projects. Therefore, the current challenges of the fourth industrial revolution (Industry 4.0) were dealt with in more detail.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Grundlagen und Stand der Technik .....	2
2.1	Extrusion .....	2
2.1.1	Fließprozess .....	3
2.1.2	Materialeinflüsse .....	6
2.1.3	Förderverhalten im Extruder .....	8
2.2	Datenbanken und Datenbankmanagementsysteme (DBMS) .....	11
2.2.1	Allgemeine Definition .....	11
2.2.2	Datenbankmodelle und deren Spezifikationen .....	16
2.3	Digital Twin .....	19
2.3.1	Allgemeine Definition .....	19
2.3.2	Voraussetzungen .....	25
2.3.3	Konzepte der Industrie 4.0 .....	28
3	Zielsetzung .....	34
4	Ist Zustands Analyse .....	35
4.1	Ist Zustands Analyse in Bezug auf Datenverfügbarkeit .....	37
4.1.1	Extrusionslinie 1 – Schlauchprofilextrusion .....	38
4.1.2	Extrusionslinie 2 – Profilextrusion mit Co-Extruder .....	43
4.2	Abgleich der vorhandenen erfassten Daten mit den vordefinierten KPP's ...	48
4.2.1	Auswertung .....	48
4.2.2	Auswirkungen .....	50
5	Proof of Concept: Python Programm, um lokale CSV Daten in eine MS SQL-Datenbank zu parsen .....	53
5.1	Motivation .....	53
5.2	Beschreibung der Module .....	54
6	Konzepte zur Datenerfassung aus industriellen Produktionslinien .....	61
6.1	Varianten von Speichermöglichkeiten .....	63
6.1.1	Datenlogger & Kommunikationsbibliotheken .....	65
6.1.2	Real Time Operating Systems .....	71
6.1.3	Edge Computing – Industrial Edge von Siemens .....	74

## Inhaltsverzeichnis

---

7	Ergebnisse / Auswertung .....	78
8	Zusammenfassung und Ausblick .....	79
	Literaturverzeichnis .....	81
	Abbildungsverzeichnis.....	84

## Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programming Interface
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
BDA	Big Data Analytics
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CC	Cloud Computing
CP	Communication Processor
CPS	Cyber Physical System
CPU	Central Processing Unit
CSV	Comma-separated values
DB	Data Base/Datenbank
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DM	Digital Model
DP	Dezentrale Peripherie
DS	Digital Shadow
DT	Digital Twin
ECN	Edge Computing Nodes
ERP	Enterprise Resource Planning
FEA	Finite Element Analysis
FPGA	Field Programmable Gate Array
GUI	Graphical User Interface
I/O-Devices	Input/Output-Devices
IoT	Internet of Things
ISA-95	International Society of Automation Standard 95
IT	Informationstechnologie
KI	Künstliche Intelligenz
KPP's	Key Process Parameters
MES	Manufacturing Execution System
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NI	National Instruments
ODBC	Open Database Connectivity
OPC UA	Open Platform Communication Unified Architecture
OS	Operating System (Betriebssystem)
RT	Real Time
RTOS	Real Time Operating System

## Abkürzungsverzeichnis

---

SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SQL	Structured Query Language
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TPE	Thermoplastische Elastomere
WinCC	Windows Control Center
XML	Extensible Markup Language
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

# 1 Einleitung

Obwohl die Extrusion von Elastomeren ein oft praktiziertes und gut erforschtes Herstellungsverfahren in der Kautschuktechnologie darstellt, ist sie durch die enorme Komplexität und Vielfalt der verschiedensten Kautschukmischungen und deren Eigenschaften bis heute eine Herausforderung. Die technischen Gummiwaren als resultierendes Produkt der Kautschukverarbeitung erhalten ihr Eigenschaftsprofil durch mehrere Einflussfaktoren. Neben dem Herstellungsverfahren selbst, welches durch eine bestimmte Prozessführung Einfluss auf das Endprodukt nimmt, leisten auch die Mischungsprozesse und Mischungsentwicklungen einen entscheidenden Beitrag.

Der Kautschuk ist durch seine viskoelastischen Materialeigenschaften ein Werkstoff, welcher eine starke zeitliche und temperaturbedingte Abhängigkeit aufweist. Bedingt durch die komplexen Materialeigenschaften dieses Werkstoffes gestaltet sich der Fertigungsprozess in vielen Ansichten als nicht trivial. Um ein besseres Verständnis für die Erzeugung von technischen Gummierzeugnissen zu erlangen, werden anhand von ausgewählten Extrusionslinien diese Probleme in einem Kooperationsprojekt der Technischen Universität Wien und der Semperit Techn. Produkte GesmbH behandelt.

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich im Speziellen mit der Analyse der Datenerfassung und -speicherung der anfallenden Prozessparameter solcher Extrusionsprozesse. Anhand von zwei Extrusionslinien werden die notwendigen Produktionsdaten gesammelt und für darauffolgende Projekte aufbereitet. Die identifizierten Prozessparameter werden im weiteren Schritt mit den von der Firma Semperit vordefinierten Key-Process-Parameters (KPP's) abgeglichen. Diese KPP's werden vom Unternehmen als Schlüsselparameter der Extrusion definiert, da sie einen maßgeblichen Einfluss auf diese Herstellungsverfahren nehmen.

Um dieses Datenmanagement und die dazugehörigen Fertigungsverfahren an die Bedürfnisse des heutigen Zeitalters der Industrie 4.0 anzupassen, wird zusätzlich der Weg der jeweiligen Datenframes vom Ursprungsort bis hin zur Archivierung in einer Datenbank visualisiert.

Darauf aufbauend werden auch neuzeitige Datenerfassungssysteme und die dazugehörigen Voraussetzungen analysiert. Hierfür werden verschiedene Konzepte der Datenerfassung und -sicherung an solchen industriellen Produktionslinien vorgestellt.

Abschließend werden in einem Ausblick aus diesen gesammelten Informationen mögliche weitere Schritte für die Digitalisierung von solchen Anlagen behandelt.

## 2 Grundlagen und Stand der Technik

Für die im Zuge dieser Diplomarbeit behandelten Themen der Digitalisierung von industriellen Produktionsanlagen werden im ersten Schritt die notwendigen Grundlagen vorgestellt. Neben den entscheidenden Eigenschaften eines Extrusionsprozesses von Elastomeren werden Datenbanken sowie die Charakteristiken und Voraussetzungen von Digitalen-Zwillingen erläutert.

### 2.1 Extrusion

Der geschichtliche Ursprung der Verarbeitung und Herstellung von Kautschukerzeugnissen liegt im 19. Jahrhundert. Die erste vorliegende Dokumentation eines Verfahrens zur Kautschukbearbeitung besteht aus einem verzahnten Rotor, welcher in einem verzahnten Zylinder verbaut ist und mittels Handkurbeltrieb angetrieben wird. Dieser handbetriebene Rotor wurde von Thomas Hancock im Jahre 1820 entwickelt. In weiterer Folge wurde im Jahr 1845 die erste Kolbenextrusion von Henry Bewley und Richard Brooman vorgestellt. Dieses Extrusionsverfahren ist durch den begrenzten Hubweg und -raum als diskontinuierlicher Prozess zu betrachten. Durch die in dieser Zeit steigende Nachfrage der Draht- und Kabelproduktion wurde der Bedarf eines kontinuierlichen Extrusionsprozesses immer größer. Die Entwicklung des ersten Schneckenextruders ermöglichte erstmals ein kontinuierliches Verfahren der Kautschukverarbeitung. Diese Art der Erzeugung von Extrudaten hat sich bis heute als essenzielles Verfahren bewiesen und wird durch die fortlaufende Formgebung auch als kontinuierlicher Fließprozess bezeichnet (vgl. [1]).

Beide betrachteten Extrusionslinien in dieser Arbeit sind als Schneckenextruder klassifiziert, dementsprechend wird bei der Beschreibung des Extrusionsvorgangs ausschließlich auf die Eigenschaften des Schneckenextruders eingegangen.

Dieser besteht, wie aus der Abbildung 1 zu entnehmen, grundsätzlich aus folgenden Komponenten:

- Motor
- Getriebe
- Fütterungseinheit
- Schnecke & Zylinder
- Gegebenfalls einem Sieb
- Extrusionswerkzeug

In einem beheizbaren Zylinder liegt die Schnecke drehbar gelagert, welche durch einen Motor angetrieben wird. Dabei wird durch Schereinwirkungen und Reibkräfte die zu extrudierende Masse verdichtet, plastifiziert und zur Werkzeugscheibe transportiert. Ein verbautes Sieb fördert zusätzlich die Homogenisierung der Werkstoffmasse, welche in der Ausstoßzone durch das Formwerkzeug gedrückt wird. Dieses Konzept ermöglicht eine kontinuierliche Formgebung des gewünschten Extrudats.

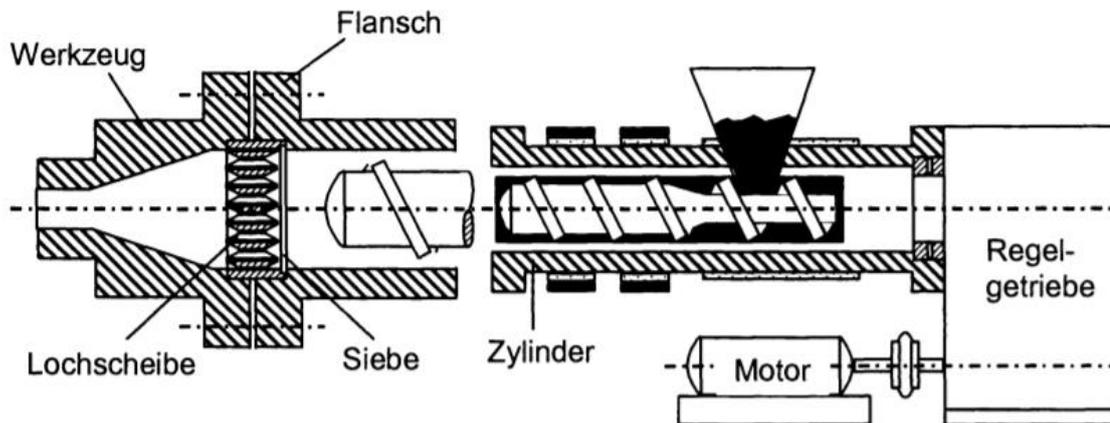


Abbildung 1: Aufbau eines Einschnecken-Extruders [2]

Die finalen Produkteigenschaften erhält das Extrudat erst nach der Vulkanisation, indem durch thermische Energie Vernetzungsreaktionen im Werkstoff aktiviert werden. Die Vulkanisation kann entweder online direkt in einem nachgeschalteten Prozess der Anlage (Salzbad), oder offline abseits der Produktionsanlage (Autoklaven) stattfinden (vgl. [2]).

### 2.1.1 Fließprozess

Durch das komplexe Materialverhalten der Kautschukmischung im Extruder ist es oft schwierig ein nahezu konstantes Ergebnis zu liefern. Man ist bemüht durch die dauerhafte Regelung gewisser Parameter einen quasistationären Prozess aufrecht zu erhalten. Der Fließprozess im Extruder kann durch verschiedene Inputs, wie in Abbildung 2 dargestellt, beeinflusst werden. Eingang 2 – Maschinengeometrie und Eingang 3 – Prozessparameter haben kontrollierbare und deterministische Variablen, welche teilweise direkt oder abgeleitet an der Produktionslinie gemessen werden können. Der Eingang 1 – Materialeigenschaften besitzt während der Produktion keine beeinflussbaren Variablen mehr, da die Verarbeitungseigenschaften von der jeweiligen Werkstoffmasse bereits vorgegeben werden. Diese können nur durch richtiges Mischen vor der Fertigung Einfluss auf das Produktionsergebnis nehmen. Der Einfluss der ersten Eingangsgröße wird im folgenden Unterkapitel: 2.1.2 Materialeinflüsse genauer erläutert. Auf der anderen Seite stehen die Ausgänge in einem Verhältnis zwischen der Produktionsqualität und der Produktionsgeschwindigkeit.

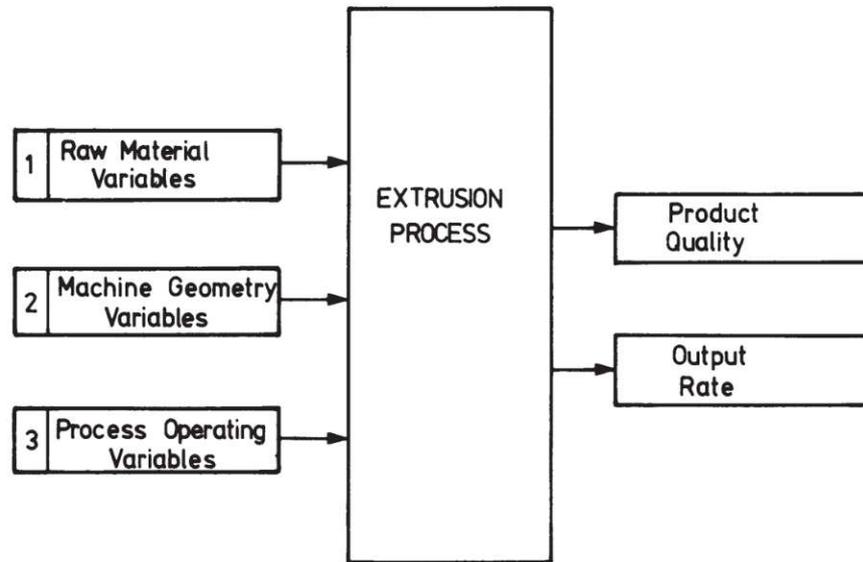


Abbildung 2: Ein- und Ausgänge eines Extrusionsprozesses [1]

Die Maschinengeometrie (Eingang 2) wird durch das Zylinderverhältnis ( $L/D$ ) und die Schneckengeometrie festgelegt, allein das Werkzeug am Ende vom Extruder und der dazugehörige Spritzkopf können durch Veränderungen im Querschnitt zusätzlichen Einfluss auf das Extrudat nehmen. Somit bleiben bei laufender Produktion nur noch die Prozessparameter als regulierbare Stellgröße (vgl. [1]).

Da diese Parameter das Produktionsergebnis stark beeinflussen und verändern können wird im Kapitel 4 eine Ist-Datenanalyse der an der Produktionslinie vorhandenen Werte durchgeführt. Diese sind im weiteren Verlauf maßgebend für die Erstellung und Modellierung von Simulationen der digitalen Abbilder.

Der Fließprozess beim Extrusionsvorgang ist durch die Viskosität der Schmelze gekennzeichnet. Diese kann als ein Maß für die Zähflüssigkeit eines Fluids gesehen werden. Die Viskosität der Kautschukmischung wird beim Produktionsprozess, neben den Temperatureinwirkungen, durch die Scherrate beeinflusst, wobei im Zylinder komplexe Strömungsformen vorliegen. Um diese mathematisch beschreiben zu können, werden sie in eindimensionale Scher- und zweidimensionale Dehnströmungen der Mischung unterteilt. Zusätzlich kann die Viskosität durch die im Zylinder verbauten Stifte (Stiftextruder) durch weitere Schereinflüsse, bei gleichbleibender Schneckendrehzahl und Temperierung der Zylinderzonen, beeinflusst werden (vgl. [3], [4]).

Das Deformationsverhalten der Kautschukmischung im Extruder kann anhand der Viskoelastizität genauer beschrieben werden. In der Rheologie können die Verformungseigenschaften und das Fließverhalten von dem viskoelastischen Körper in zwei Anteile unterteilt werden:

### ■ Elastischer Anteil

Bei der elastischen Verformung kann die in das System hinzugefügte Energie nach Entlastung wieder abgegeben werden und der Körper nimmt seine ursprüngliche Form an. Dieser Anteil bestimmt die reversible Verformung des Körpers.

### ■ Viskoser Anteil

Treten zusätzlich viskose Prozesse ein, wird die geleistete Arbeit im System in Wärme umgewandelt. Der viskose Anteil bewirkt eine irreversible zeitabhängige Verformung des Körpers.

Für den Extrusionsprozess gilt, dass sowohl elastische als auch viskose Einwirkungen zur Verformung des zu verarbeitenden Werkstoffes beitragen. Aus diesem Grund ist der Fertigungsprozess stark von der Verformungsgeschwindigkeit und der Temperatur abhängig.

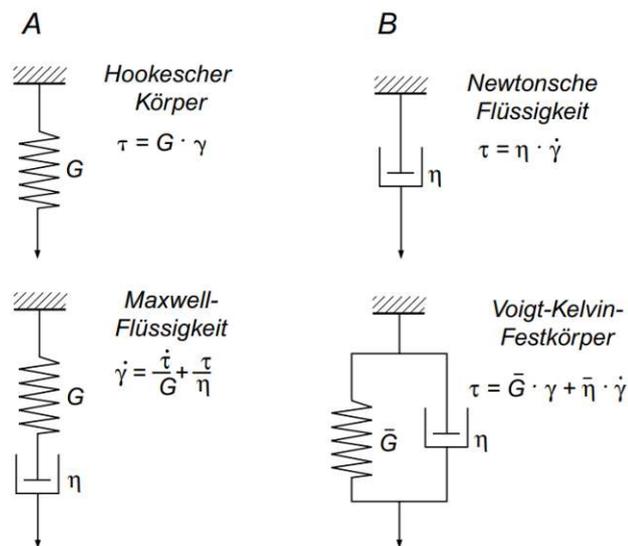


Abbildung 3: Modellkörper für die rheologische Beschreibung der Viskoelastizität [5]

Anhand von den rheologischen Modellkörpern (siehe Abbildung 3) kann das viskoelastische Verhalten mathematisch beschrieben werden. Mittels Superpositionsprinzip werden die Modelle des Hookeschen Körpers und der Newtonschen Flüssigkeit zum Maxwell-Flüssigkeitsmodell (Spannung – Relaxionsversuche) bzw. zum Voigt-Kelvin-Festkörpermodell (Kriechversuche) zusammengefasst. Diese zwei Modelle werden im weiteren Schritt zu einem Vierelementmodell kombiniert (vgl. [5]).

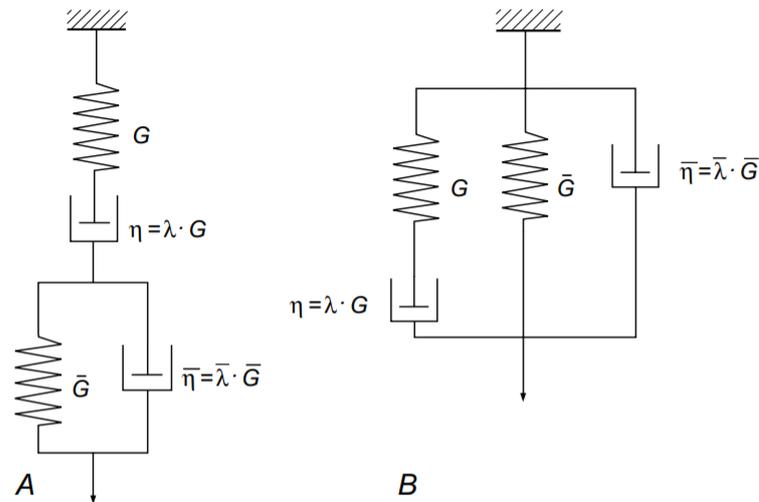


Abbildung 4: Vierelement-Modellkörper; **A** Reihenschaltung von Maxwell- und Kelvin-Voigt-Körper; **B** Parallelschaltung von Maxwell-Flüssigkeit und Kelvin-Voigt-Körper [5]

Eine detaillierte Beschreibung des Vierelement-Modells mit ihren vollständigen Gleichungen ist in der angeführten Literatur [5] aufzufinden.

### 2.1.2 Materialeinflüsse

Die komplexen viskoelastischen Materialeigenschaften eines unvulkanisierten Kautschuks führen dazu, dass die Elastomerherstellung in vielerlei Hinsicht ein aufwändiges Herstellungsverfahren bildet. Durch die deutlich höhere Viskosität von Kautschukmischungen müssen spezielle Mischverfahren durchgeführt werden. In einem Innenmischer werden abhängig von der jeweiligen Zutatenliste die einzelnen Komponenten nach dem Batchverfahren beigemischt. In bestimmten Abständen und Mengen werden der Kautschukmasse Füllstoffe (Ruß, Silikate), Weichmacher, Kieselsäure, Vernetzungsmittel und diverse andere Additive hinzugefügt. Die Herstellungsrezeptur und das dazugehörige Mischverfahren entstehen firmenintern durch jahrelanges Forschen, dementsprechend tragen sie zu einem grundlegenden Teil des Firmen-Knowhows bei. Im Unterschied zu anderen Polymeren, wie beispielsweise TPE's, weist die fertige Kautschukmischung nur eine begrenzte Haltbarkeit auf. Durch falsche oder zu lange Lagerungs- und Transportbedingungen können die in der Mischungsherstellung erwünschten Materialeigenschaften verloren gehen. In einem bestimmten Zeitfenster ( $\sim 1$  Woche – 6 Monate) muss die Kautschukmischung durch das entsprechende Formgebungsverfahren (Extrudieren, Spritzgießen, Kalandrieren, etc.) verarbeitet und anschließend vulkanisiert werden.

## **Vulkanisation**

Die Vulkanisation kann direkt nach der Formgebung in den nächsten Abschnitten der Extrusionslinie anhand von einem Flüssigkeitsbad (online), oder anschließend in weiteren Schritten in Autoklaven (offline) stattfinden. In Anwesenheit von Vernetzungsmitteln wie Schwefel und Metalloxiden wird unter Temperatur- und Druckeinwirkungen durch chemische Umwandlung bzw. Vernetzung das Endprodukt Gummi gebildet. Dabei ist zu beachten, dass bestimmte Produktionsbedingungen bereits in der Formgebung eine Anvulkanisation („Anscorchen“) vorzeitig fördern können. So führen beispielsweise zu hohe Drehzahlen im Schneckenextruder zu einer erhöhten Scherrate in der Mischung und somit zu einem Anstieg der Massetemperatur. Wird die kritische Massetemperatur überschritten kann durch das Anscorchen der Extrusionsvorgang behindert bzw. zur Gänze durch Verstopfung des Extruders unterbrochen werden. Das Material ist nach diesem Vorgang nicht mehr wiederverwendbar und muss als Ausschuss entsorgt werden. Um diesen Materialeinflüssen bei der Produktion entgegenzuwirken, gilt es die Massetemperatur und den Massedruck so zu regeln, dass diese nicht den kritischen Wert überschreiten. Weiters kann durch bestimmte Inhibitoren (Säuren) die Vernetzungsreaktion zusätzlich gedämpft werden. Im Kontrast dazu verkürzen Basen (Amine) die Scorch-Zeiten.

## **Füllstoffe**

Füllstoffe wurden in der Anfangszeit der industriellen Kautschukherstellung gegen die Klebrigkeit von Naturkautschuk eingesetzt. Hierbei wurde dem Mischungsprozess z.B. Kreide oder Talkum beigefügt. Mit steigender Nachfrage an Gummierzeugnissen übernahm der Füllstoff auch die Rolle des Streckungsmittels. Über die Jahre kam man zur Erkenntnis, dass Ruß neben der Verwendung als Streckungsmittel auch die materiellen Eigenschaften des Endprodukts fördern kann. Diese Additive können in verstärkende und inaktive Füllstoffe unterteilt werden. Ersteres beeinflusst die viskoelastischen Eigenschaften des Endprodukts, indem die Viskosität erhöht werden kann. Weiters kann das Bruchverhalten (Reißfestigkeit, Abrieb und Weiterreißwiderstand) des vulkanisierten Extrudats positiv beeinflusst werden. Inaktive Füllstoffe erzielen diese Eigenschaften nicht, dafür finden sie Verwendung, wenn eine erleichterte Verarbeitbarkeit und Gasundurchlässigkeit besonders erwünscht ist.

## **Weichmacher**

Weichmacher, auch als Softener bekannt, zeichnen sich durch ihre niederviskose Eigenschaft aus und sind für die Verringerung der Viskosität der Kautschukmischung verantwortlich. Dadurch können Eigenschaften der Elastomere wie Biogsamkeit, Dehnbarkeit, Elastizität, Härte, Kältebeständigkeit und Flexibilität beeinflusst werden. Diese werden auch beim Mischvorgang beigemischt, um die Beweglichkeit der

einzelnen Kettensegmente in der Polymerstruktur zu fördern, um somit die Verarbeitungseigenschaften zu verbessern. Weiters kann mit diesem Zusatz die Glasübergangstemperatur vom Werkstoff verringert werden. Zu beachten ist, dass die kritische Entmischungsgrenze nicht erreicht werden darf, da sonst diese Additive aus der Mischung wieder austreten und die gewünschten Verarbeitungseigenschaften nicht erzielt werden können. Weichmacher können allgemein in zwei Gruppen zusammengefasst werden, in die Mineralölweichmacher und die synthetischen Weichmacher.

### **Weitere Additive**

Neben den oben angeführten Rohstoffen können zusätzlich viele weitere Additive beim Mischungsprozess hinzugefügt werden. Natürliche Einwirkungen wie Licht, Wärme und Oxidationsprozesse sind für die Alterung und den Zerfall der Polymerketten im Gummi verantwortlich. Um diesem Abbau entgegen zu wirken und die physikalischen Eigenschaften vom Endprodukt besser zu erhalten, werden Alterungs-, Ultraviolett (UV)- und Ozonschutzmittel beigefügt. Zusätzlich kann die Klebrigkeit des Werkstoffes durch bestimmte Harze verbessert, die Pigmentierung durch Farbstoffe verändert und der Verbrennungsprozess durch Flammenschutzmittel verzögert werden. Diese genannten Zusatzstoffe sind nur einige Beispiele aus dem gesamten Sortiment der verschiedenen Additive (vgl. [5], [6]).

All die angeführten Verfahren der Herstellung von Kautschukmischungen, die Beeinflussung ihrer Eigenschaften mitsamt ihren Additiven können in der angeführten Literatur [4]–[6] genauer nachgelesen werden.

### **2.1.3 Förderverhalten im Extruder**

Der Schneckenextruder (siehe Abbildung 5) zählt im Vergleich zu anderen Extrudern (Mehrschneckenextrudern) zu einem der wichtigsten und meistangewendeten Verarbeitungsverfahren der Kautschukproduktion. Durch den vergleichsweise simplen Aufbau können die Anlagen- und Wartungskosten geringer gehalten werden. In einem länglichen Zylinder ist eine Schnecke verbaut, welche das zu verarbeitende Material durch Schereinwirkungen homogenisiert und zur Werkzeugscheibe transportiert. Der Vortrieb vom Material lässt durch Reibungskräfte am Zylinder und der sich drehenden Schnecke die Massetemperatur und den Massedruck der Mischung ansteigen. Beim Eintritt der Kautschukmischung in die Fütterungseinheit vom Extruder sind bestimmte Voraussetzungen zu erfüllen. Grundsätzlich wird das Material in Form von Streifen automatisiert eingezogen, wobei sich bei der Fütterung zwischen Speisewalze und Extruderschnecke ein sogenannter Wulst bildet. Dieser dient als Identifikator für eine Unter- bzw. Überfütterung des Extruders. Beim Extrudieren, also dem Zeitpunkt, an dem die homogenisierte Masse die Werkzeugscheibe verlässt, ist durch die viskoelastischen Materialeigenschaften von Elastomermischungen eine Quellung vom Extrudat zu beachten. Die vorhandene Elastizität in der viskoelastischen

Werkstoffmasse führt beim Austritt zur sogenannten Spritzquellung. Der durch die Quellung beigeführte Anstieg vom Produktquerschnitt ist nicht zu vernachlässigen, hierfür müssen die Werkzeugscheiben dementsprechend angepasst werden. Die Spritzquellung führt dadurch zu einer weiteren Herausforderung der Extrusion von Kautschukerzeugnissen.

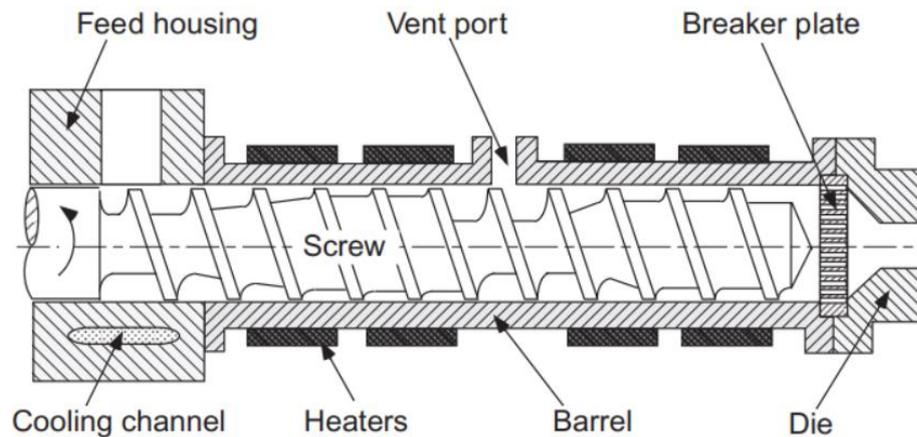


Abbildung 5: Schneckenextruder mit Vakuumzone und Heizelementen im Zylinder [7]

Ist zusätzlich ein Entlüftungsloch (Abbildung 5 – Vent Port) im Zylinder verbaut, kann mittels Vakuumpumpe durch Unterdruck die Masse von Gaseinschlüssen bereinigt werden. Weiters kann zwischen Schneckenende und dem Werkzeug eine Scheibe mit Löchern (Abbildung 5 – Breaker Plate) verbaut werden. Ein solches Sieb hat die Aufgabe die Masse durch zusätzliche Schereinwirkungen weiter zu homogenisieren.

Temperiereinheiten (Abbildung 5 – Heaters) können in Form von elektrischen Spulen oder Wasserkreisläufen realisiert werden. Da beim Extrusionsvorgang von Kautschukerzeugnissen die kritische Massetemperatur nicht überschritten werden darf, sind Temperiergeräte mit einem Wärmetauscher den elektrischen Spulen überlegen. Einerseits kann mit zirkulierendem Warmwasser das Anfahren (Ramp-Up) der Produktionsanlage beschleunigt werden und andererseits kann beim Verarbeiten durch Kühlung auf die Stabilität der Massetemperatur Einfluss genommen werden. Mit solchen Temperiergeräten wird die Temperatur in der Fütterungszone, den Zylinderzonen, der Schnecke und den Werkzeugscheiben geregelt.

Das Förderverhalten im Extruder ist also durch mehrere Faktoren bestimmt. In erster Linie ist dieses stark von der Schneckengeometrie und der Temperierung abhängig. Im ersten Segment der Schnecke wird durch den Verdichtungseffekt beim Einzug mehr Volumen im Zylinder benötigt, der Schneckendurchmesser ist hier geringer. Anschließend wird die eingezogene Masse den weiteren Schneckenabschnitten zugeführt. Um eine weitere Verdichtung zu erzielen, verändert sich die Schneckengeometrie nach der Einzugszone, der Schneckendurchmesser nimmt zu und der Hohlraum zwischen Schnecke und Zylinder wird geringer. Entlang der gesamten Zylinderzonen bzw. nur in einem Abschnitt des Zylinders können zusätzliche

Stifte verbaut sein. Diese haben die Aufgabe, neben den bereits bestehenden Reibkräften zwischen Zylinderwand und Schneckenoberfläche, zusätzlich den Widerstand und somit die Scherung der Masse in Flussrichtung zu erhöhen. Falls Stifte im Zylinder gewünscht werden, muss dementsprechend die Schneckengeometrie angepasst werden, indem der Schneckensteg im Bereich der Stifte unterbrochen wird. Dadurch kann zusätzlich Einfluss auf die Scherrate in der Mischung genommen werden. Die Scherrate kann grundsätzlich durch die Variation der Schneckendrehzahl beeinflusst werden. Je höher die Drehzahl ist, desto mehr Scherung erfährt die Kautschukmischung. Während der Produktion kann somit durch die Variation der Schneckendrehzahl und der unterschiedlichen Temperierung von Schnecke und Zylinder Einfluss auf das Förderverhalten im Extruder genommen werden. Grundsätzlich gilt, dass eine Erhöhung der Schneckentemperatur und Verringerung der Zylinderwandtemperatur einen höheren Durchsatz im Extruder begünstigt. Trotz all dieser Einwirkungen auf das Förderverhalten ist die Produktionsgeschwindigkeit durch die maximale Massetemperatur und den Massedruck stark limitiert. Zu hohe Durchsatzgeschwindigkeiten bedeuten nicht nur eine Senkung der Produktqualität, sondern können auch zum Produktionsstillstand und Ausfall der Anlage führen.

Zusätzliche Aggregate wie eine Zahnradpumpe entlasten die Sacke, da die Zahnradpumpe für den Druckaufbau vor der Werkzeugscheibe zuständig ist. Mittels verbauter Zahnradpumpe kann ein konstanter und homogener Materialfluss für den Spritzkopf des Extruders sichergestellt werden.

Weiters ist zu beachten, dass sich der Verschleiß der Extruderschnecke negativ auf das Förderverhalten im Extruder auswirkt. Die Schereinflüsse verändern sich und es kann zu Strömungsabbrüchen und Totstellen in Flussrichtung führen (vgl. [5], [7]).

## 2.2 Datenbanken und Datenbankmanagementsysteme (DBMS)

Die große Herausforderung für die Erstellung eines Anwendungssystems, ausgestattet mit einer Datenbank, ist der Übergang von der semantischen Denkweise eines Menschen zur syntaktischen Informationsverarbeitung eines Computers. Der Mensch ist in der Lage Informationen semantisch, also unter Berücksichtigung ihrer Bedeutung und zusätzlich durch Erfahrungswerte, zu verarbeiten. Ein Computer, ausgenommen eine künstliche Intelligenz, kann nur mit den strukturellen Informationen und Logiken arbeiten, welche im System explizit vom Menschen hinterlegt worden sind. Dabei nimmt er keinen Bezug auf ihre Bedeutung und arbeitet strikt nach der hinterlegten Syntax.

Die heutige Digitalisierung aller Branchen (Unternehmen, Behörden, etc.) zwingt die Gesellschaft regelrecht diese Informationsflut zu managen. Hierfür spielen Datenbanken eine essenzielle Rolle, um die steigenden Informationsmengen richtig zu verteilen, zu hinterlegen und wiederzugeben. Kombiniert mit einem Datenbankmanagementsystem (DBMS) ist eine vielseitige Verwaltung all dieser Informationen möglich.

In diesem Kapitel werden angefangen vom ersten Datei-Anwendungssystem bis hin zu einem weiterentwickelten Datenbank-Anwendungssystem die notwendigen Grundlagen erläutert. Dabei werden die Vorteile einer Datenbank, deren verschiedene Modelle und das Datenbankmanagementsystem genauer vorgestellt.

### 2.2.1 Allgemeine Definition

Ein Datenbankverwaltungssystem setzt sich zusammen aus den gespeicherten Daten, auch als Datenbasis bekannt, und deren Programme, welche den Zugriff auf die Datenbasis ermöglichen. Solch ein Datensatz in Form einer Datenbank kann definiert werden als:

*„Eine Datenbank (engl. Data Base – DB) ist eine Sammlung von strukturierten Daten, zwischen denen sachlogische Zusammenhänge bestehen.“ [8]*

Ein dazugehöriges Datenbankverwaltungssystem hat die folgende Definition:

*„Ein Datenbank-Managementsystem (engl. Data Base Management System – (DBMS) ist ein Programmsystem, das die notwendige Software für alle Aspekte der Datenverwaltung bereitstellt.“ [8]*

### Datei-Anwendungssystem

Bevor der Einsatz von Datenbanken mit einem Managementsystem üblich war, wurden den Anwendungssystemen isolierte Datensätze zur Verfügung gestellt. Der geschichtliche Ursprung solcher Datei-Anwendungssysteme entstand durch den Wunsch der Automatisierung der ersten vereinzelt betrieblichen Produktionsabläufen. Hierfür wurden von Entwicklern Programme, mit individuellen Datenstrukturen, welche nur auf bestimmte Anwendungen ausgelegt waren, erstellt. Ohne gewisse Normen und zentrale Lösungsansätze entstanden von Entwickler zu Entwickler individuelle Anwendungssysteme mit eigenen Programm- und Datenstrukturen. Dies erschwerte nicht nur die Lesbarkeit und Übersichtlichkeit der erstellten Programme, unter den Entwicklern, sondern auch die Kompatibilität der erstellten Lösungen. Um auf Daten eines ähnlichen oder aufbauenden Anwendungssystems Zugriff zu bekommen, mussten vorerst Konverter-Programme erstellt werden, welche den Datensatz in die benötigte Datenstruktur umwandeln. Das bedeutet, wenn  $n$  Anwendungssysteme alle untereinander Daten austauschen möchten, müssen  $n \cdot (n-1)$  Konverter-Programme erstellt werden (siehe Abbildung 6). Bei 10 Systemen müssten somit 90 Konverter-Programme geschrieben werden, um einen vollständigen Datenaustausch zwischen allen Programmen zu ermöglichen. Durch den individuellen Datensatz kann es vorkommen, dass dieselben Daten für mehrere Anwendungen benötigt werden und somit öfters gleich auftreten können. Diese Art der redundanten Datenspeicherung benachteiligt eine effiziente Datenverwaltung und ihre Speicherplatzoptimierung.

Weiters sind jegliche Veränderungen in der Datenstruktur auch mit einem Umprogrammieren des zugehörigen Anwendungssystems verbunden, da das System mit seiner individuellen Struktur nur unmittelbar auf seine Dateien zugreifen kann.

Der einzige Vorteil bei solch einem Aufbau ist, dass ein Datei-Anwendungssystem direkt auf seine eigenen Daten zugreifen kann, und somit im Betrieb ein schneller Datenzugriff ermöglicht wird.

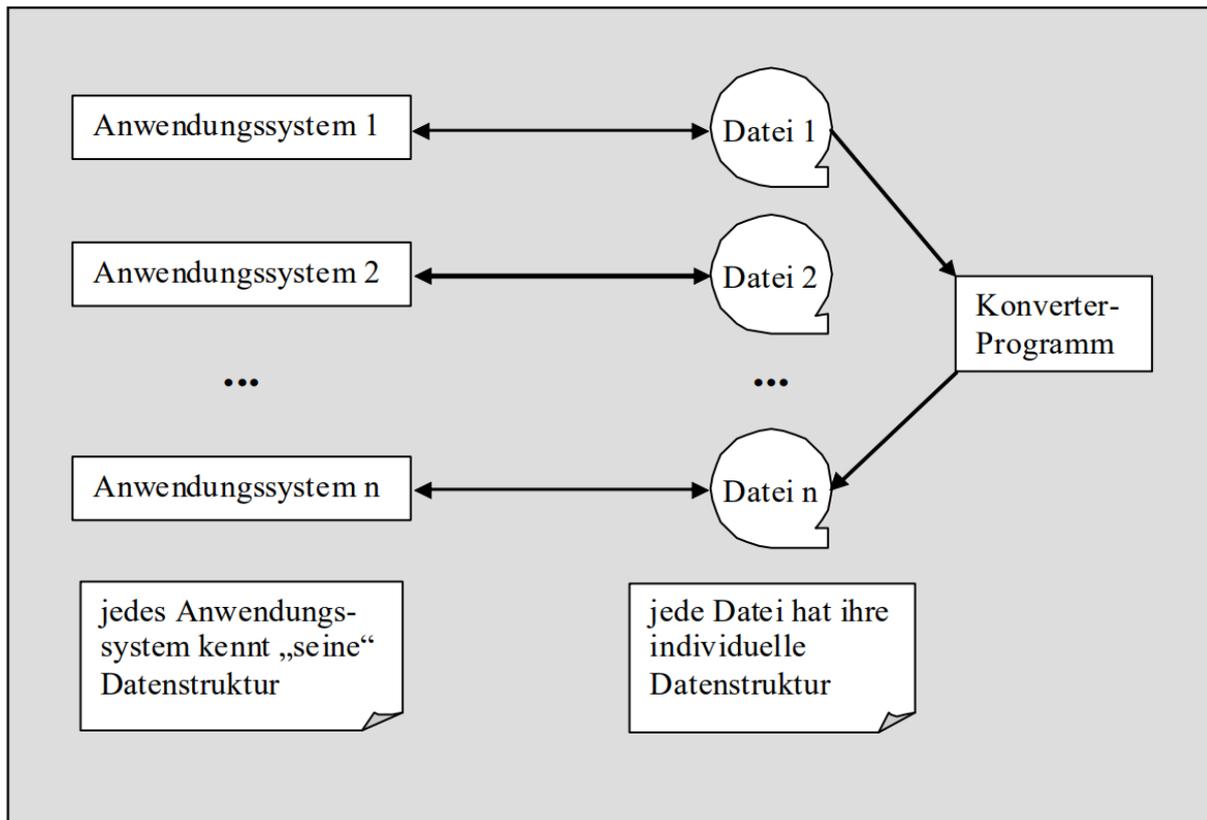


Abbildung 6: Aufbau eines Datei-Anwendungssystems mit seinem individuellen Datensatz [8]

### Datenbank-Anwendungssystem

Der ausschlaggebende Unterschied eines Datei-Anwendungssystems im Vergleich zu einem Datenbank-Anwendungssystem ist, dass der Datensatz vom eigentlichen Programm entkoppelt ist (siehe Abbildung 7). Nur das dazugehörige Datenbankmanagementsystem enthält die notwendigen Informationen der Struktur der Datenbank und allein dieses gewährt den Zugriff auf die benötigten Datensätze für die einzelnen Anwendungssysteme. Um diesen Aufbau zu realisieren, wird für eine Kommunikation zwischen dem Datensystem und der Anwendungssysteme eine normierte Schnittstelle benötigt. Diese bestimmt den Regelsatz in welcher Form die Anwendungssysteme auf die Datenbank zugreifen können. Die Einführung solcher normierten Schnittstellen ermöglichen es verschiedenste Datenbankmanagementsysteme zu verwenden, da dadurch auch das Anwendungssystem vom DBMS entkoppelt wird. Dies hat zur Folge, dass ein Wechsel vom DBMS keine Änderung mehr im Anwendungssystem voraussetzt. Bei einem Wechsel des DBMS ist darauf zu achten, ob dieses auch mit dem benötigten Datenbankmodell umgehen kann. Die wichtigsten Datenbankmodelle werden im Kapitel 2.2.2: Datenbankmodelle und deren Spezifikationen vorgestellt.

Eine bekannte normierte Schnittstelle zwischen den beiden Parteien ist die Sprache der Structured Query Language (SQL). Diese Sprache wurde, abgesehen von ihren vielen Funktionen, dafür entwickelt um Anwendungssystemen das Lesen, Speichern, Ändern und Löschen von Daten in einem Datensatz zu ermöglichen.

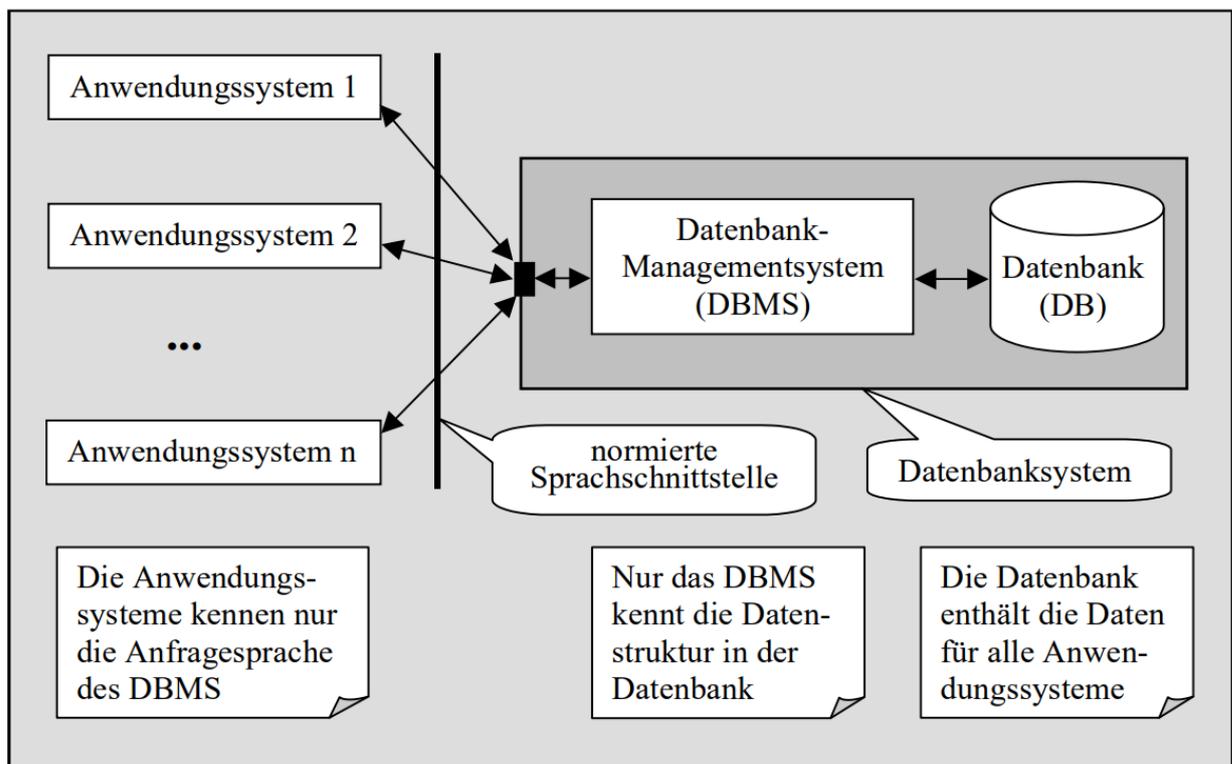


Abbildung 7: Aufbau eines Datenbank-Anwendungssystems mit einer zentralen Datenbasis [8]

Durch die vorgestellten Eigenschaften eines Datenbank-Anwendungssystems ergeben sich deutlich mehr Vorteile gegenüber seinem Vorgänger:

#### ■ Redundanzfreiheit

Der gesamte Datensatz für alle Anwendungssysteme liegt einmal zentral vor und jedes von diesen Systemen kann auf diesen separat zugreifen. Dadurch kann Speicherplatz gespart sowie der Verwaltungsaufwand gesenkt werden und es herrscht im Datensatz Redundanzfreiheit. Dies wird ermöglicht, weil die physische Struktur der Daten nicht auf die einzelnen Anwendungssysteme explizit zugeschnitten ist, sondern eine einheitliche Struktur für alle vorkommenden und künftigen Systeme bereitgestellt wird. Die Entkoppelung des physischen Aufbaus der Daten und den Bedürfnissen des Anwendungssystems ergibt eine logische Datenunabhängigkeit.

- **Jedes Anwendungssystem bekommt Zugriff auf sämtliche Daten**

Die Entkoppelung ermöglicht weiters den ausnahmslosen Zugriff auf alle vorhandenen Daten in der Datenbank, da diese für alle Anwendungsfälle einheitlich gestaltet sind. Dies erhöht die Flexibilität in Bezug auf die Datenverfügbarkeit und Datenverarbeitung.

- **Physische Datenunabhängigkeit**

Ohne dem physischen Zusammenhang und nur mit einer logischen Abhängigkeit sind jegliche Änderungen in der Struktur der Datenbank, ohne die Anwendungssysteme zu beeinflussen, durchführbar. Dadurch sind Optimierungsarbeiten in der Datenbankstruktur und den Datensätzen möglich.

- **Mehrnutzerbetrieb ermöglicht**

Das DBMS ermöglicht durch seine Aufgabe als zentrale Verwaltungsstelle den koordinierten Zugriff sämtlicher Anwendungssysteme auf ein und denselben Datensatz in der Datenbank. Dadurch ist es weiters möglich, dass verschiedene Programme auf dieselben Daten mehr oder weniger gleichzeitig zugreifen können.

- **Datenintegrität, Zugriffsschutz und Recovery**

Anders als bei den Datei-Anwendungssystemen übernimmt das Datenbankmanagementsystem die Datenintegrität. Deshalb ist eine Sicherstellung der Vollständigkeit und Redundanzfreiheit des Datensatzes gewährleistet. Weiters können im DBMS Prioritäten und Rechte auf das jeweilige Anwendungssystem erteilt werden, wodurch ein Zugriffsschutz entsteht. Schlussendlich kann nach einem Hard- und Softwareausfall durch Recovery-Funktionen im DBMS der verlorene Datensatz wiederhergestellt werden.

Der einzige Nachteil des Datenbank-Anwendungssystems ist der Vorteil des vorher erwähnten Datei-Anwendungssystems. Es existiert kein direkter Datensatz mit seiner individuellen Struktur, der in der jeweiligen Anwendung eingebunden ist. Die Schnittstelle des DBMS kann als Vermittler angesehen werden. Infolgedessen sind in der Ausführung etwas niedrigere Bearbeitungsgeschwindigkeiten zu erwarten. Diesem Problem kann aber im DBMS durch die Einführung von Indizes und der Verbesserung der Suchprozesse entgegengewirkt werden.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass eine Datenbank eine Sammlung an logisch verbundenen Daten beinhalten soll, wobei diese Sicherung möglichst wenig Redundanz aufweist. Diese hinterlegten Informationen sollen dann durch Abfragemöglichkeiten ausgelesen werden können und gegebenenfalls durch hinterlegte Funktionen verändert werden. Hierfür beinhaltet das Datenbankmanagementsystem als Verwaltungszentrale die notwendigen Funktionen (vgl. [8], [9]).

## 2.2.2 Datenbankmodelle und deren Spezifikationen

Datenbankmodelle, die bis heute noch eine große Bedeutung haben sind das relationale-, objektorientierte-, hierarchische- und das netzwerkartige-Datenbankmodell. Die letzten zwei Modelle werden auch als satzorientierte Datenmodelle zusammengefasst und haben heutzutage fast nur noch historische Bedeutung. Gearbeitet wird mit diesen Modellen trotzdem bis heute noch, da viele Datenbanken weiterhin mit diesen Ansätzen betrieben werden und eine Transformation in die neuzeitigen Modelle nicht möglich, zu aufwändig oder zu teuer ist. Das Modell, welches mit Abstand am meisten Verwendung findet, ist das relationale Datenbankmodell. Im Vergleich dazu gewinnt der objektorientierte Ansatz in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung.

Des Weiteren dürfen die neuen Datenbankkonzepte nicht vernachlässigt werden, welche durch den Zwang einer effizienten Verwaltung von riesigen verteilten Datensätzen aus dem Internet entstanden sind. Diese spaltenorientierten oder Key-Value Datenbanken fallen in die Kategorie der NoSQL bzw. Not-Only-SQL-Ansätze. Jedes Datenbankmodell bringt seine Vor- und Nachteile, welche kurz in diesem Kapitel vorgestellt werden.

### Hierarchisches- und Netzwerkartiges Datenbankmodell

Wie bereits erwähnt finden diese Modelle bis heute nur noch Verwendung, da etliche Datensätze mittels diesem Ansatz weiterhin verwaltet werden. Dieses Datenbankmodell zählt zu den ersten Ansätzen in diesem Gebiet. Der logische Aufbau eines hierarchischen Datenbankmodells basiert auf einer Baumstruktur, wobei der Zugriff immer vom Ursprungsknoten erfolgt. Dieser streng verknüpfte Aufbau ermöglicht geringste Redundanzen, aber bietet wenig bis kaum Flexibilität für nachträgliche Änderung in der Struktur der Datenbank. Die Zugriffszeiten können durch diesen Ansatz auch auf ein Minimum beschränkt werden, da der kürzeste Weg durch die Baumstruktur vorgegeben ist. Durch die geringe Flexibilität bezogen auf Änderungen in der Datenbankstruktur entstand das netzwerkartige Datenbankmodell. Der Aufbau ist dadurch nicht mehr hierarchisch, sondern kann mittels eines beliebigen Netzwerkes definiert werden. Die Flexibilität wird gesteigert auf Kosten der Übersichtlichkeit und der erschwerten Handhabung durch die vielseitigen Möglichkeiten vom Aufbau dieser Struktur. Die Vorteile der kurzen Zugriffszeiten und der minimalen Redundanzen stehen den starren und schwer änderbaren Datenbankstrukturen als Nachteil gegenüber. Heutzutage ist es üblich, dass Datenbanken mit verschiedensten Datensätzen bereits befüllt werden, ohne die endgültige Struktur der Datenbank zu kennen. Aufgrund dieser mangelnden Flexibilität finden das hierarchische und netzwerkartige Datenbankmodell in der heutigen Zeit nahezu keine Verwendung mehr.

## **Relationales Datenbankmodell**

Durch die einfachen Erweiterungsmöglichkeiten und Programmierung der Zugriffe findet dieses Modell mit Abstand am meisten Verwendung in der Datenverwaltung. Die jeweiligen Informationen werden in Tabellen (Relationen) hinterlegt und der Zusammenhang wird durch mathematische Beziehungen sichergestellt. Die in diesen Tabellen vorhandenen Zeilen werden Tupel oder auch Datensätze genannt und die Spalten werden auch als Attribute bezeichnet. Für eine eindeutige Identifikation benötigt jeder Datensatz einer Tabelle ein Primärschlüsselattribut. Dieser Schlüssel darf in allen Tabellen nur ein einziges Mal vorkommen, dadurch wird sichergestellt, dass keine Doppelungen im Datensatz auftreten. Der Zugriff wird immer über die vereinzelt Tabellen gewährleistet, wobei diese vorerst normalisiert werden müssen. Mittels der Normalisierung wird eine Redundanzfreiheit im Gesamtsystem bewerkstelligt. Ein großer Nachteil dieses Modells ist die Zugriffsgeschwindigkeit und der Bedarf an vielen Ein- und Ausgaben. Dies ist bedingt durch die verschiedenen Zusammenhänge der einzelnen Relationen, welche zum Lesen der Informationen erst aus mehreren Tabellen zusammengefügt werden müssen. Weiters wird aus diesem Grund eine höhere Rechenleistung vorausgesetzt, die diese vielen Ein- und Ausgaben verarbeiten muss. Die Vorteile der leichten Änderbarkeit des Datenbankaufbaus und der leichten Programmierung und Verwaltung überwiegen aber diesen Nachteilen. Das allgemeine relationale Datenbankmodell stößt erst bei riesigen Datenmengen (z.B. Google Suchmaschine, Amazon, etc.) aus dem Internet, welche sofort abrufbar sein sollen, an seine Grenzen.

## **Objektorientiertes Datenbankmodell**

Wie schon aus der Bezeichnung des Modells zu entnehmen, basiert das objektorientierte Datenbankmodell rein auf Objekten. Dies kann mit dem Ansatz der objektorientierten Programmiersprachen gleichgestellt werden. Ein Objekt kann beispielsweise ein Fahrzeug, diverse Fachbereiche, sämtliche Informationen zu einer Person oder jegliche Anlehnungen der realen Welt darstellen. Nicht reale Gegenstände wie Rechnungen oder Adressen können ebenfalls als Objekte dargestellt werden. Zusammengefasst kann ein Objekt als eine abgeschlossene Einheit der realen bzw. abstrakten Welt angesehen werden, wobei jedes Objekt vom anderen unabhängig und eindeutig identifizierbar ist. Verwirklicht werden diese Objekte im Data Base Engineering oft in Form von Tabellen. Obwohl objektorientierte Ansätze wie Klassen und Vererbungen diese Art der Modellierung ausmachen, können objektorientierte Datenbankmodelle durch das Hinterlegen der Informationen in Tabellenform auch als eine Erweiterung der relationalen Datenbankmodelle angesehen werden. Diese Hybridform der objektrelationalen Datenbanken enthalten somit objektorientierte Erweiterungen des relationalen Modells. Der Vorteil der Erweiterungsmöglichkeiten eines relationalen Ansatzes beinhaltet als Konsequenz

einen deutlich komplexeren Aufbau. Der Aufwand der Modellierung und Programmierung wird dadurch beträchtlich erhöht. Bedingt durch die steigende Komplexität benötigt dieses Modell auch eine höhere Rechenleistung und durch den relationalen Zusammenhang auch viele Ein- und Ausgaben. Ein weiterer Vorteil hingegen ist, dass der Aufbau der objektorientierten Datenbankstruktur viel genauer der Realität entspricht als ein normalisiertes relationales Datenbankmodell.

### **No-SQL und Not-Only-SQL Datenbankmodelle**

Die Namensgebung NoSQL bezieht sich auf die Abspaltung der üblichen relationalen SQL-Datenbankmodelle. Stattdessen arbeiten diese Modelle mit einem Key/Value Prinzip, einer spaltenorientierten Modellierung oder in Form von Graphen. Bedingt durch Milliarden von Informationen im Internet, welche punktgenau verarbeitet werden müssen, entstanden diese Ansätze. Eine relationale Herangehensweise ist zwar durch ihren Fokus auf die Sicherheit und Konsistenz eine wichtige Säule in der Datenbankverwaltung, diese kann aber die immensen Daten nicht rechtzeitig verarbeiten. Ein NoSQL Ansatz arbeitet zum Beispiel mit einem Key/Value Prinzip, indem jeder Eintrag bzw. jedes Item (können auch ganze Files mit Informationen sein) ein Schlüssel zugeordnet bekommt. Diese Items können auch unterschiedlich aufgebaut sein, da mittels dieser Beziehung keine Struktur vorgegeben wird und die Einträge dadurch schemalos erscheinen. Die Voraussetzung keiner bestimmten Struktur folgen zu müssen, wirkt sich positiv auf die Skalierbarkeit solch einer Datenbank aus, da in dieser Hinsicht keine Regeln zu beachten sind. Um die Effizienz und Skalierbarkeit weiter zu steigern, werden diesen Einträgen Hashwerte, die sogenannten Key-Spaces zugeordnet. Dieser Hashwert gibt Auskunft auf welchem Server die gewünschten Informationen zurzeit hinterlegt bzw. zu hinterlegen sind. Mithilfe der Erstellung von Spiegelbildern (Mirrors) auf mehreren Partitionen könne die Informationen sichergestellt und geschützt werden. Durch die Erweiterung der Server wird nicht nur der Speicherplatz verdoppelt, sondern quasi auch die Möglichkeit der Anfragen (Queries) an die Datenbank. Im Gegensatz zum relationalen Datenbankmodell hat dieser Ansatz aber einen großen Nachteil, da nur eine sinnvolle Zuordnung durch den Key stattfindet. Alle anderen Einträge sind dadurch schwerer zu unterscheiden, da zwangsweise nicht in jedem Item die gleiche Struktur herrscht. Wird beispielsweise in einer Kontaktliste, in welcher der Key auf den Namen der Personen gebunden ist, die Anfrage an das Alter gestellt, kann es deutlich schwieriger und langsamer werden alle Einträge richtig zu identifizieren (vgl. [9]–[11]).

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass alle Modelle durch ihre Vor- und Nachteile eine Verwendung in der Datensicherung und -verwaltung finden. Für einfache Bedienung und Programmierung mit Fokus auf Sicherheit, Flexibilität und Redundanzfreiheit dominiert bis heute das relationale Datenbankmodell.

## 2.3 Digital Twin

Die hochgradig wettbewerbsstarke Marktwirtschaft, bedingt durch die Verlagerung des Produktionstyps auf Massenproduktion und das heutige Zeitalter des datengesteuerten Produktdesigns, führen zu neuen Herausforderungen in der industriellen Produktion. Der Fokus von Digitalisierung und das Bestreben nach besserer Produktivität von jeglichen Wertschöpfungsketten und Produkten gewinnt für viele Unternehmen rasant an Bedeutung. Verschiedenste IT-Technologien wie Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Engineering (CAE), Computer Aided Manufacturing (CAM) und Finite Element Analysis (FEA) in Kombination mit einer Implementierung eines Digitalen Zwillings bringen viele Vorteile mit sich. Produkte können in einer virtuellen Umgebung samt deren Verhalten und tatsächlichen Performance geplant, erstellt, simuliert und optimiert werden. Dieser Vorgang spart nicht nur wertvolle Ressourcen wie Zeit und Geld durch den Verzicht von ersten Prototypen, sondern steigert die Qualität der Prognosemöglichkeiten, ermöglicht raschere Inbetriebnahmen der Produkte und fördert auch die Gesamtübersicht des derzeit herrschenden Projektes. Zudem können deutlich bessere und transparente Abstimmungen zwischen Händlern und Anbietern durchgeführt werden.

Hierfür ist der Einsatz bzw. die Erstellung und Implementierung von Digitalen Zwillingen und Cyber Physical Systems (CPS) bezogen auf ein reales Objekt entscheidend (vgl. [12]).

Sowohl der Digitale Zwilling als auch das Framework eines Cyber Physical Systems teilen sich einen gemeinsamen Grundgedanken, nämlich eine nahtlose Integration zwischen einem realen Objekt und dessen virtuell erstelltem Spiegelbild. Wie diese Integration zu Stande kommt und welche Herausforderungen bewältigt werden müssen, werden in diesem Kapitel genauer angeführt.

### 2.3.1 Allgemeine Definition

Eine allgemein gültige Definition des Digitalen Zwillings ist bis heute schwer aufzufinden, vielmehr entstanden diese durch diverseste Anwendungsfälle von verschiedenen Organisationen und Herstellern, welche trotzdem in der Formulierung dieser Definition Gemeinsamkeiten aufweisen. Eine der bekanntesten und von Forschern in dieser Branche anerkannte Definition des Digitalen Zwillings wurde im Jahr 2012 von Glaessgen und Stargel verfasst, welche folgendermaßen lautet:

„digital twin is an integrated multi-physics, multi-scale, probabilistic simulation of a complex product and uses the best available physical models, sensor updates, etc., to mirror the life of its corresponding twin.“ [13]

Der geschichtliche Ursprung des ersten dokumentierten Anwendungsfalls eines DT liegt im Projektzeitraum des Apolloprogramms der National Aeronautics and Space

Administration (NASA). Bei der Abwicklung dieses historischen Meilensteins kam das Wort Zwillings im Kontext eines zweiten Raumfahrzeuges zum ersten Mal in Verwendung. Diese Mission wurde durchgeführt, indem zwei Raumfahrzeuge konzipiert worden sind. Eines wurde für den Flug selbst verwendet, während das Zweite (der Zwillings) auf der Erde blieb und für die Simulation des Fortfliegenden verwendet wurde. In weiterer Folge entstand bis 2010 die offizielle Beschreibung des Digitalen Zwillings von der NASA (vgl. [14])

Der DT wurde definiert als:

„an integrated multiphysics, multiscale, probabilistic simulation of a vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its flying twin.“ [14]

Anschließend entstanden in den folgenden Jahren viele zusätzliche Beschreibungen und Definitionen eines solchen Konzeptes. Um diese vielen Begriffserklärungen eines Digitalen Zwillings unterscheiden und zusammenfassen zu können, wurde von Kritzinger (2018) [15] ein Paper verfasst, welches die Definitionen eines DT unter der Berücksichtigung der „Ebene der Integration“ kategorisiert. Die Motivation dieser Herangehensweise hat den Ursprung, dass laut Kritzinger viele Use Cases eines DT oft nicht der richtigen Definition entsprechen und falsch eingeordnet werden. Nicht jedes digitale Pendant eines realen Objektes erfüllt alle Voraussetzungen eines Digitalen Zwillings, hierfür muss zwischen einem Digitalen Modell (DM), Digitalen Schatten (DS) und einem Digitalen Zwillings unterschieden werden (vgl. [15]).

### **Digitales Modell**

Ein Digitales Modell kann mit jeglicher 3D-Software erstellt werden und dient als eine Vertretung eines realen Objekts. Mit diesem digitalen Spiegelbild können Konzepte, Simulationen und verschiedene Entwürfe geplant und umgesetzt werden, ohne das Bedürfnis für die Erstellung eines realen Prototyps. Je nach Bedarf wird das virtuelle Abbild genau wie das Reale oder in vereinfachter Form modelliert. Der Datenfluss zwischen dem physischen und virtuellen Objekt ist hier entscheidend. Für Optimierungen kann vom realen Objekt ein Datenfluss an das virtuelle bewerkstelligt werden, indem Veränderungen am virtuellen Modell nachträglich implementiert werden. Der Informationsfluss findet aber manuell statt (siehe Abbildung 8), es gibt also keinen automatischen Datenaustausch zwischen den beiden Objekten. Somit können nur Interpretationen vom Digitalen Modell an das Reale durchgeführt und jegliche Änderungen am DM haben keinen direkten Einfluss auf das physische Modell.

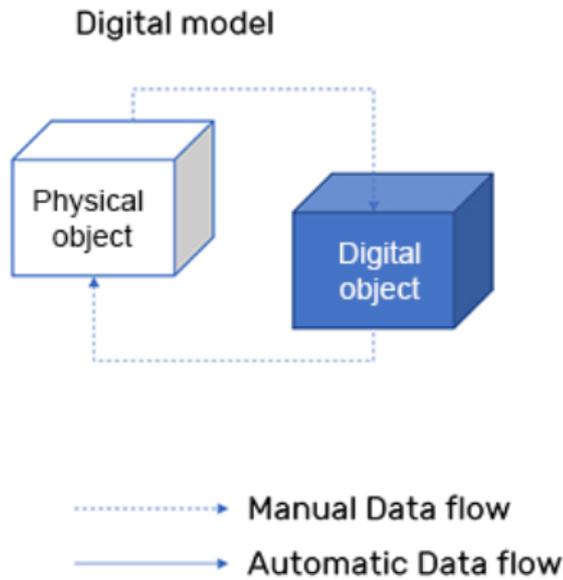


Abbildung 8: Der Informationsfluss eines Digitalen Modells [16]

### Digitaler Schatten

Der Digitale Schatten ist im Vergleich zum Digitalen Modell, bezogen auf das „Level der Integration“, dem Digitalen Zwilling einen Schritt näher. Aufbauend auf einem Digitalen Modell besitzt der Digitale Schatten eine automatisierte Verbindung in eine Richtung. Der Datenfluss wird vom realen Objekt automatisch an das virtuelle Spiegelbild weitergeleitet (siehe Abbildung 9). Dies hat zur Folge, dass jegliche Veränderungen am physischen Objekt ebenso Einfluss auf das digitale Objekt nehmen. Das Digitale Modell leitet aber keine Informationen an das physische Objekt weiter, es können lediglich die neu simulierten Zustände des virtuellen Spiegelbildes interpretiert werden.

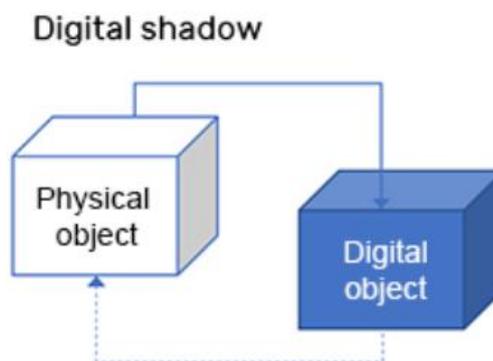


Abbildung 9: Der Informationsfluss eines Digitalen Schattens [16]

## Digitaler Zwilling

Erst wenn der automatisierte Kreislauf des Datenflusses zwischen dem physischen und digitalen Objekt in beide Richtungen geschlossen wird, kann von einem Digitalen Zwilling gesprochen werden. Die vollständige Integration des Datenaustausches führt dazu, dass jede Veränderung, sowohl am physischen als auch digitalen Objekt, eine Veränderung des gegenüberstehenden Objektes mit sich bringt. In anderen Worten sammelt das physische Objekt in Echtzeit die notwendigen Daten, welche durch die Verbindung an das digitale Objekt weitergeleitet werden. Diese Informationen werden anhand des digitalen Spiegelbilds für Simulationsanpassungen und -aktualisierungen verwendet. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden anschließend wieder an das physische Modell zurückgeleitet, um dieses mit den neu berechneten Parametern anzupassen.

Mit diesen drei Definitionen der Ebenen der Integration soll in Zukunft eine Missinterpretation bzw. falsche Kategorisierung eines Digitalen Zwillings entgegengewirkt werden (vgl. [15], [16]).

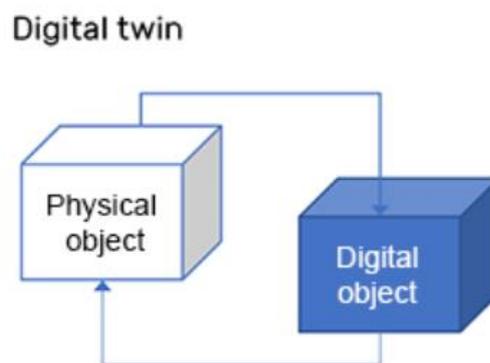


Abbildung 10: Der Informationsfluss eines Digitalen Zwillings [16]

## Cyber Physical System (CPS)

Durch die bereits oben beschriebenen Herausforderungen, bedingt durch den Drang der Digitalisierung und dem Wechsel auf Smart Manufacturing, gewinnen „Smart Technologies“ immer mehr an Bedeutung. Technologien wie Internet of Things (IoT), Cloud Computing (CC), Big Data Analytics (BDA) kombiniert mit Cyber Physical Systems und Digitalen Zwillingen werden zum Mittelpunkt der neuen Generation der Fertigung.

Ein CPS ist für die neue Ära des Smart Manufacturing nicht nur eine Voraussetzung, sondern es bildet den notwendigen Rahmen. Das Cyber Physical System kann wie folgt beschrieben werden:

„CPS are multidimensional and complex systems that integrate the cyber world and the dynamic physical world. Through the integration and collaboration of computing, communication, and control, known as the 3C's.“ [17]

Das Framework des CPS ermöglicht eine Echtzeiterfassung mit der jeweiligen Sensorik, eine Rückkoppelung der verarbeiteten Informationen mittels Feedback-Loop und die Möglichkeit auf eine dynamische echtzeitfähige Steuerung. Dieses Framework ist also mit autonomen Elementen ausgestattet, welche über jegliche Produktionsstufen eigenständig miteinander kommunizieren können. Solche Systeme sind schon in der heutigen Zeit sehr gut vertreten und werden in Fahrzeugen, medizinischen Geräten, Produktionsmaschinen, etc. eingesetzt. Man kann also sagen, dass ein CPS das Grundgerüst für eine nahtlose Integration der physischen und virtuellen Welt bereitstellt. Der Digitale Zwilling kann im Zusammenhang mit dem CPS als eine spezifische Anwendung des CPS angesehen werden. Nichtsdestotrotz beschreiben beide Begriffe die Integration der realen und virtuellen Welt (vgl. [17]).

Das CPS kann anhand einer 5C-Architektur beschrieben werden und wird in die folgenden Ebenen unterteilt:

1. Smart Connection Level
2. Data-to-Information Conversion Level
3. Cyber Level
4. Cognition Level
5. Configuration Level

Die Ebene 1 bildet die Grundlage eines CPS und ist dafür zuständig aus einem realen Objekt Daten zuverlässig zu sammeln und an die Ebene 2 weiterzuleiten. In dieser Ebene werden die gesammelten Daten verarbeitet und relevante Informationen herausgefiltert. Mittels bestimmter Algorithmen kann eine gewisse Eigenwahrnehmung der Maschinen realisiert werden. Die relevanten Informationen werden an das Cyber-Level (Ebene 3) weitergegeben, welches als Informationszentrum dieser Architektur fungiert. In Ebene 4 wird tiefgründigeres Wissen aus den analysierten Informationen abgeleitet, welches anschließend für die Entscheidungsfindung von erfahrenen Benutzern visualisiert wird. Schlussendlich wird der Kreislauf mit der Ebene 5 geschlossen, indem die verarbeiteten Informationen aus dem CPS mittels Feedback-Loop zurück an das reale Objekt übergeben werden. Mit dieser Verbindung wird für die Überwachungssteuerung der Maschine ein gewisser Grad der eigenständigen Konfigurierbarkeit und Anpassung ermöglicht (vgl. [18]).

In der folgenden Abbildung 11 ist der zeitliche Verlauf der Entwicklung der traditionellen Informationstechnologie in die neuzeitige IT grafisch dargestellt. Evident ist, dass mithilfe von fortgeschrittenen IT-Technologien wie IoT, CC, BDA, etc. der wahre Sprung in die umfassende Digitalisierung der derzeit herrschenden Industrie 4.0 ermöglicht wurde (vgl. [17]).

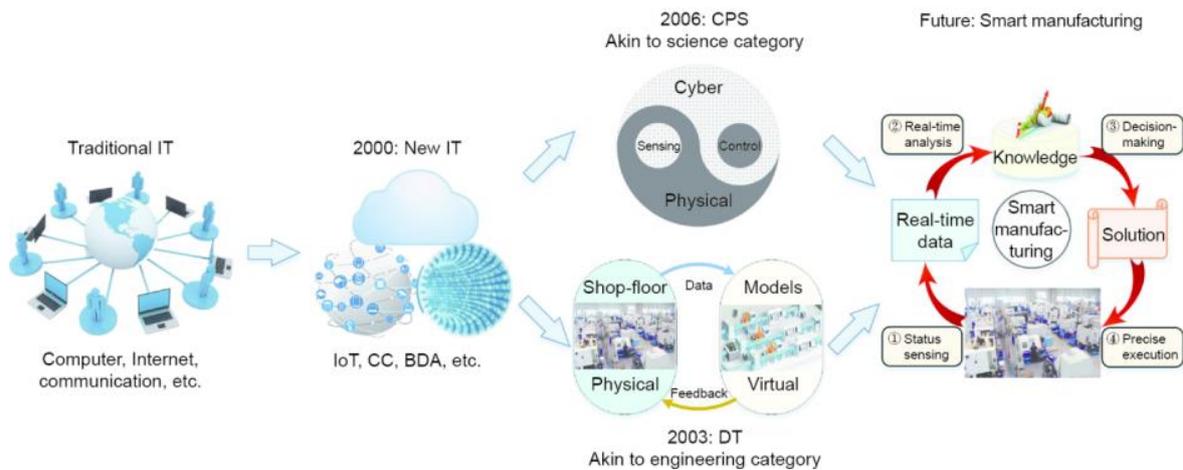


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der Entwicklung von der Informationstechnologie [17]

### Beziehung zwischen DT und CPS

Wie bereits beschrieben haben beide Konzepte eine grundsätzliche Gemeinsamkeit, nämlich die nahtlose Integration der physischen und virtuellen Welt. Der Unterschied ist, dass ein CPS für die Integration von leistungsstarker Informationsverarbeitung von Computertools und physischen Prozessen zuständig ist. Vielmehr wird auf die Steuerung dieser Prozesse Wert gelegt, anstatt das ideale Spiegelbild eines konkreten Objektes zu erstellen. Dabei ist die Beziehung im Vergleich zu einem Digitalen Zwilling keine eins-zu-eins Beziehung, sodass ein Cyber Physical System auch mehrere physische Komponenten beinhalten kann. Es besteht somit eine eins-zu-mehrere Objekt Beziehung.

Der Digitale Zwilling hingegen ist dafür ausgelegt eine detaillierte echtzeitgetreue Kopie des physischen Objektes im virtuellen Raum zu erschaffen. Hierfür ist ein hochaufgelöstes virtuelles Modell nötig, um eine realistische Kopie der Geometrien, Eigenschaften und Verhaltensweisen eines physischen Objektes oder Systems nachzustellen. Dadurch erhält ein solches Modell ein sehr ähnliches Erscheinungsbild wie sein reales Gegenstück. Durch die Koppelung des Datenaustausches in beide Richtungen wird eine Optimierung beider Einheiten ermöglicht. Das virtuelle Modell analysiert und regelt die Eingangsgrößen und liefert die neu erkannten Informationen an das physische Objekt. Das reale Objekt kann die neuen Einstellungen übernehmen und seinen Vorgang optimieren. Diese neu eingestellten Parameter werden dann wiederum, durch die verbaute Sensorik im physischen Raum, an das virtuelle Modell zur erneuten Auswertung weitergeleitet. Dieser geschlossene Datenaustausch beider Komponenten ermöglicht eine fortlaufende Aktualisierung beider Objekte.

Der reale physische Teil kann in Mensch, Maschine, Material und Umgebung zusammengefasst werden. Dieser steht dem Virtuellen gegenüber, welcher für die

computerbasierten Dienste, das Datenmanagement und die Entscheidungsfindung zuständig ist. Im digitalen Teil werden die Informationen analysiert und verarbeitet und beeinflussen durch Rückkoppelung die physische Einheit, wie aus Abbildung 12 zu entnehmen (vgl. [17]).

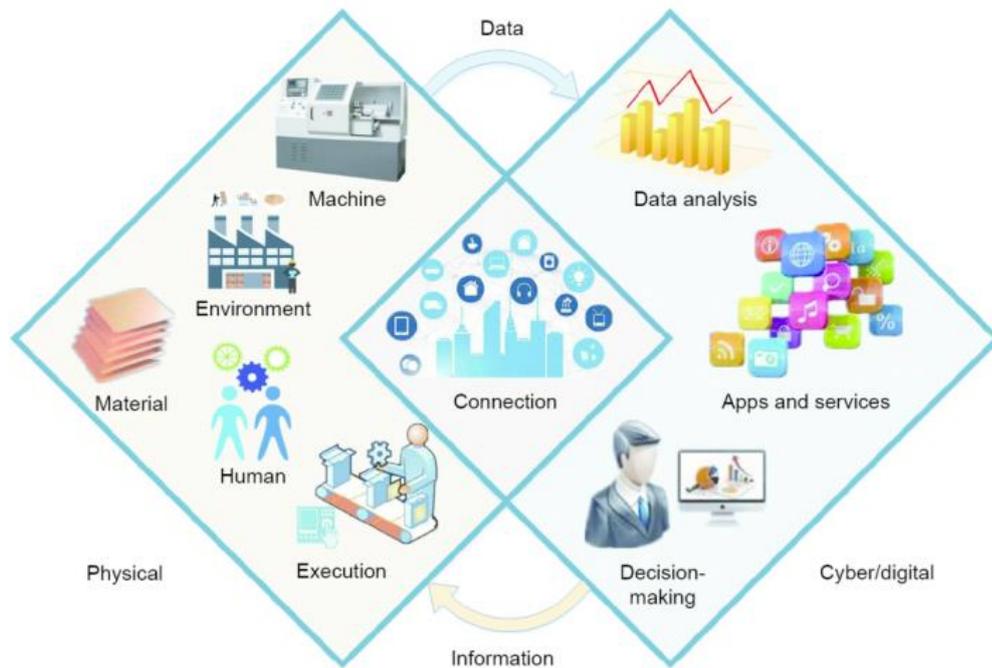


Abbildung 12: Beziehung zwischen der physischen und digitalen Welten. [17]

### 2.3.2 Voraussetzungen

Der Digitale Zwilling, als eine Anwendung im CPS und darüber hinaus in der Industrie 4.0, ist eine digitale Beschreibung eines realen Erzeugnisses. Dank dieser Technologie kann neben einer hohen Kostenreduktion, durch gezielte Vorplanung und Simulationen, auch eine schnellere Markteinführungen von neuentwickelten Produkten bewerkstelligt werden. Um eine nahtlose Verbindung zwischen der realen und virtuellen Welt zu ermöglichen ist ein lückenloses und vollständiges digitalisiertes Engineering vorausgesetzt (vgl. [19]).

Da es sich hierbei um einen digitalisierten Anwendungsfall im Bereich der Industrie 4.0 handelt, müssen vielmehr die Voraussetzungen und Kriterien eines Industrie 4.0-Produktes geklärt werden. Hierfür wurde vom deutschen Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) im Jahr 2017 die grundlegenden Kriterien von solch einem Industrie 4.0-Produktes definiert. Diese Kriterien basieren auf dem Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) und der Beschreibung der Industrie 4.0-Komponente. Die Industrie 4.0 und ihre Kriterien sind bis heute ein stetig wachsendes Thema, aus diesem Grund werden die dazugehörigen Kriterien jährlich evaluiert und bei Bedarf angepasst. (vgl. [20])

Eine genauere Beschreibung des RAMI 4.0 Modells und die Definition einer Industrie 4.0-Komponente wird im Kapitel 2.3.3: Konzepte der Industrie 4.0 behandelt.

### **Kriterien eines Industrie 4.0-Produktes**

Sowohl das RAMI 4.0 als auch das Industrie 4.0-Komponente Modell sind der Ausgangspunkt für die hier vorgestellten Kriterien eines Industrie 4.0-Produktes. Diese Kriterien werden weiters unter den Gesichtspunkten der Produkteigenschaften, des Erfüllungsgrades und Lebenszyklus analysiert. In der folgenden Auflistung werden die zuständigen Produkteigenschaften genauer erläutert. Mit dem Erfüllungsgrad kann unterschieden werden, welche Eigenschaften als eine Grundlage oder als optionales Feature vorausgesetzt werden. Der Lebenszyklus legt fest, ob sich das Produkt in der Entwicklung (Typ) oder bereits in der Produktion (Instanz) befindet.

Diese definierten Kriterien eines Industrie 4.0-Produktes lassen sich nach dem ZVEI in folgende Unterpunkte unterteilen (siehe Abbildung 13) (vgl. [20]):

#### ■ **Identifikation**

Die Identifikation setzt voraus, dass eine globale und einheitliche Zuordnung aller Produkte (Assets) im Industrie 4.0-Netzwerk vorhanden sein muss. Hierfür wird als eindeutiger Schlüssel ein Identifier für das zuständige Asset eingeführt, mit welchem das Produkt weltweit konkret identifiziert werden kann. Dieser Identifier gilt sowohl für die dazugehörigen Daten als auch Funktionen in der Verwaltungsschale des zugehörigen Produktes.

Im RAMI 4.0 Modell wird die Identifikation auf der Layer-Achse den Ebenen Assets, Information und Functional zugeordnet.

#### ■ **Industrie 4.0-Kommunikation**

Die Kommunikation der Industrie 4.0 arbeitet nach einer serviceorientierten Architektur, in welcher Dienste und Informationen ausgetauscht werden können. Hierfür ist eine lückenlose und breitgefächerte Informationsbereitstellung über den gesamten Lebenszyklus eines Assets vorausgesetzt. Eine detaillierte Definition dieser Kommunikation mit verschiedensten Szenarien ist in der Literatur [21] angeführt.

Im RAMI 4.0 wird dies speziell im Communication-Layer dargestellt und durchgeführt.

#### ■ **Industrie 4.0-Semantik**

Für eine einheitliche und herstellerübergreifende Verständlichkeit aller Maschinen, Komponenten und IT-Systeme wird eine uniforme „Sprache“ benötigt. Dies gilt weiters für die vorhandenen Daten und Funktionen aber auch die Syntax in IT-Systemen.

Im RAMI 4.0 ist dieser Unterpunkt im Information-Layer hinterlegt.

### ■ Virtuelle Beschreibung

Unter der virtuellen Beschreibung kann das gesamte digitale Abbild eines Produktes verstanden werden. In diesen Informationen können Bilder, Datenblätter, Modelle, Produktbeschreibungen, etc. enthalten sein. Dadurch kann das Asset vollständig digital abgebildet werden. Zusätzlich können gewisse Informationen von diesem Asset dem jeweiligen Kunden zur Verfügung gestellt werden.

Im RAMI 4.0 ist dieser Unterpunkt im Information-Layer hinterlegt.

### ■ Industrie 4.0-Dienste und -Zustände

Die einzelnen Industrie 4.0-Komponenten, gesamte Systeme als auch Produktionsanlagen müssen untereinander im Industrie 4.0-Netzwerk kommunizieren können. Dementsprechend werden zusätzliche Dienste benötigt, welche beide Kommunikationspartner verbinden können. Diese ermöglichen den Austausch von Informationen und stellen sie der benötigten Einheit zur Verfügung. Auch für die Dienste wird eine herstellerübergreifende und einheitliche Implementierung vorausgesetzt. Zusätzlich sollten sie nicht nur standardisiert, sondern auch als genormte Schnittstelle für jeden frei zugänglich sein.

Im RAMI 4.0 ist dieser Unterpunkt im Information-Layer hinterlegt.

### ■ Standardfunktionen

Einige implementierte Standardfunktionen können speziell für den Endkunden bzw. Maschinenbauer sehr nützlich sein, wenn diese bei allen Industrie 4.0-Komponenten bzw. Systemen einheitlich gestaltet werden können. Als Beispiel für eine Standardfunktion können die Condition-Monitoring-Funktionen einer Maschine herangezogen werden. Falls die Funktionen einheitlich und standardisiert gestaltet werden, kann herstellerübergreifend ein effizienteres Condition-Monitoring von jeglichen Produktionsanlagen bzw. Maschinen betrieben werden.

Im RAMI 4.0 werden solche Standardfunktionen dem Functional-Layer zugeordnet.

### ■ Security

Das letzte Kriterium eines Industrie 4.0-Produktes beinhaltet seine Sicherheit. Die Security muss über alle Layers, Hierarchieebenen und den gesamten Lebenszyklus des jeweiligen Assets gewährleistet sein. Da ein Asset mit seiner dazugehörigen Verwaltungsschale sowohl eine Soft- bzw. Hardwarelösung darstellen kann, wird für die spezifische Sicherheit dieses Produktes eine Bedrohungsanalyse benötigt. Erst dann können die erforderlichen Schritte eingeleitet werden, um das gewisse Produkt richtig zu schützen.

Da die Sicherheit über alle Ebenen hinweg gewährleistet sein muss, wird diese auch jedem Layer im RAMI 4.0 Modell zugeordnet.

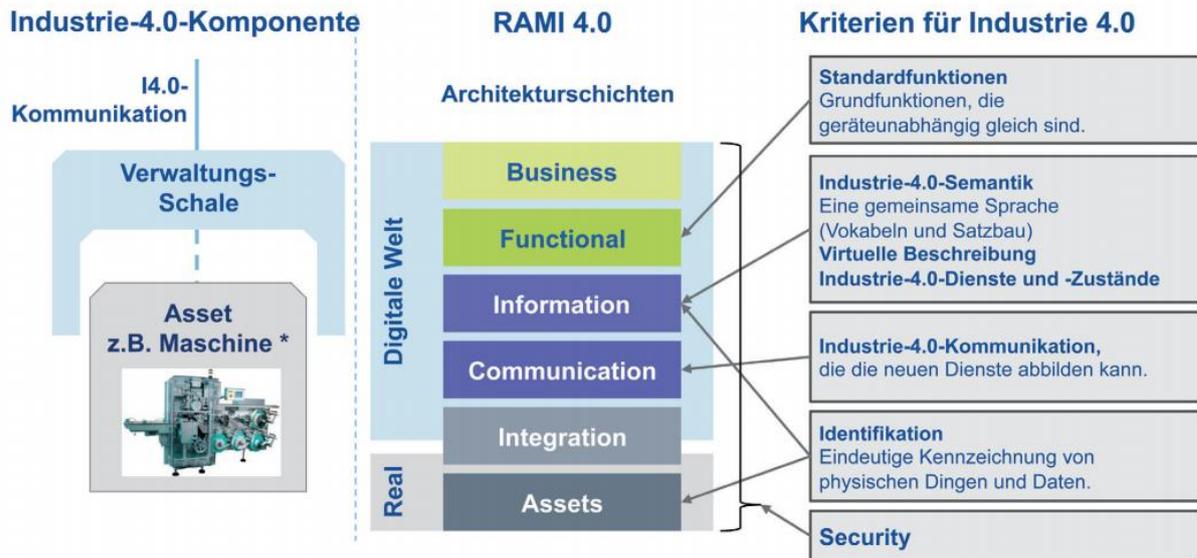


Abbildung 13: Die Herleitung der Kriterien für Industrie 4.0-Produkte [20]

### 2.3.3 Konzepte der Industrie 4.0

In diesem Unterkapitel werden die wichtigsten Konzepte und Modelle vorgestellt, welche dafür verwendet werden können, einen Digitalen Zwilling zu beschreiben bzw. zu kategorisieren.

#### Digital Twin Konzept (3D-Modell)

Ein fundamentales Modell des Digitalen Zwillings wurde im Jahr 2003 von M. Grieves vorgestellt. Dieses einfach gehaltene Konzept setzt sich aus drei Teilen zusammen, nämlich der physischen Einheit, seinem virtuellen Gegenüber und der Verbindung zwischen den beiden Elementen. Das 3D-Modell ermöglicht eine Visualisierung und Simulation von komplexen Systemen, welche wiederum in einem weiteren System implementiert sein können. Weiters können die physikalischen Eigenschaften und das Verhalten dieser physischen Einheit in Echtzeit analysiert werden, mit einem verhältnismäßig guten Preis-Leistung-Verhältnis. Dabei muss es sich nicht zwangsläufig um ein Produkt selbst handeln, es ist genauso möglich den Herstellungsprozess zu simulieren. Durch umfangreiche Beobachtung der einzelnen Herstellungsschritte können diese nicht nur besser verstanden, sondern zeitgleich mit virtuellen Modellen optimiert werden. Hierfür ist es wichtig, jegliche Herstellungsschritte mit gewählter Sensorik zu überwachen und diese Daten im virtuellen Abbild zu simulieren. Im virtuellen Abschnitt befinden sich, in Form von Modellen, geometrische Daten und die physikalischen Verhaltensweisen sowie Eigenschaften des realen Objektes. Erkenntnisse, welche aus den Simulationen gewonnen werden, können anschließend mittels der herrschenden Verbindung an die Aktorik der physikalischen Einheit zurückgeleitet werden. Dieser geschlossene Kreislauf ermöglicht eine beidseitige Optimierung des realen und virtuellen Objektes. (vgl. [22])

### **Digital Twin Konzept (5D-Modell)**

Das vorgestellte 3D-Konzept eines DT wurde grundsätzlich für militärische Operationen und Raumfahrttechnik mit begrenztem bzw. isoliertem Internetzugang konzipiert. Hierfür war solch ein Konzept ausreichend, aber durch steigende Aufmerksamkeit eines DT in anderen Branchen, wie der Automobilindustrie, Bau- und Landwirtschaft und des Gesundheitswesens, werden Anpassungen und Erweiterungen benötigt. Der Fokus verlagert sich auf alltäglichere Produkte mit einer offenen und nutzerorientierten Umgebung. Die Anwendung von neuen Informationstechnologien in der Industrie führt dazu, dass die generierten Daten einer physischen Einheit mittels IoT zu einer virtuellen Einheit transferiert werden können. Verarbeitet und hinterlegt werden diese in der Cloud, mittels künstlicher Intelligenz (KI) und Big Data werden anschließend relevante Erkenntnisse extrahiert. Diese gewonnenen Informationen werden in Form von Services an die physische Einheit zurückgeführt. Die neuen Möglichkeiten von intelligenten Verbindungen und Abläufen führen dazu, dass das klassische 3D-Modell um zwei Dimensionen ausgeht und zusätzlich verallgemeinert werden muss. Einerseits bekommt das Modell eine neue Dimension in Form von Services, auf der anderen Seite spielen Daten eine immer wichtigere Rolle. Bedingt durch enormen Zuwachs an zu verarbeitenden Daten, wird das 5D-Modell auch um diese Dimension erweitert und angepasst (vgl. [23]).

Das neue Modell besteht somit aus den folgenden Dimensionen (siehe Abbildung 14):

- **Physische Einheit**

Die physische Einheit besteht weiterhin aus einem realen Objekt bzw. System oder Subsystem, welche eine gewisse Tätigkeit aufweist. Mittels Sensorik werden in Echtzeit Daten über den jeweiligen Zustand sowie den dazugehörigen Parametern erfasst.

- **Virtuelle Einheit**

Mit der virtuellen Einheit ist man bemüht ein bestmögliches Spiegelbild der physischen Einheit in der virtuellen Welt zu erzielen. Die Zusammenführung verschiedenster Modelle (Geometrische-, Physikalische-, Regel-, Verhaltensmodelle) ermöglicht eine sehr akkurate Beschreibung der realen Zustände sowie der gesamten physischen Einheit.

- **Services**

Die Services-Dimension beinhaltet Dienstleistungen sowohl für die physische als auch virtuelle Einheit. Sie bilden eine Funktion aus Eingängen, Ausgängen, Standardfunktionen, der Qualität als auch des derzeitigen Zustandes der entsprechenden Einheit. Services sind dafür zuständig den Betrieb beider Einheiten ständig zu optimieren, indem dafür gesorgt wird, dass die virtuelle Einheit eine hohe Wiedergabegenauigkeit erzielt. Durch Echtzeitregulation kann die Kalibrierung der virtuellen Einheit durchgeführt werden.

### ■ Digital Twin Data

Bedingt durch den rasanten Zuwachs an verschiedensten Daten wurde diese Dimension eingeführt. Detaillierte Modellierungen und Simulationen in der virtuellen Einheit haben nicht nur zu Folge, dass mehr Datenvolumen in dieser Einheit anfällt, sondern auch, dass deutlich mehr Daten aus der physischen Welt hierfür herangezogen werden müssen. Zusätzlich fallen weitere Datensätze durch die neue Dimension der Services an. Die Daten eines Digitalen Zwillings können in diesem Modell grundsätzlich in fünf verschiedene Kategorien eingeteilt werden. Sie bestehen aus Daten der physischen Einheit, der virtuellen Einheit, der dazugehörigen Services, den daraus gewonnenen Erkenntnissen und schlussendlich ihrer Zusammenführung.

### ■ Verbindung

Die bereits bekannte Verbindung, welche im 3D-Modell vorgestellt wurde, wird für das neue Konzept angepasst. Durch den Zuwachs von zwei weiteren Dimensionen, müssen sechs verschiedene Verbindungen bewerkstelligt werden.

Das 5D-Modell beinhaltet somit eine bidirektionale Verbindung zwischen den folgenden Einheiten:

- Physische Einheit – Virtuelle Einheit
- Physische Einheit – Services
- Physische Einheit – Digital Twin Data
- Virtuelle Einheit – Services
- Virtuelle Einheit – Digital Twin Data
- Digital Twin Data – Services

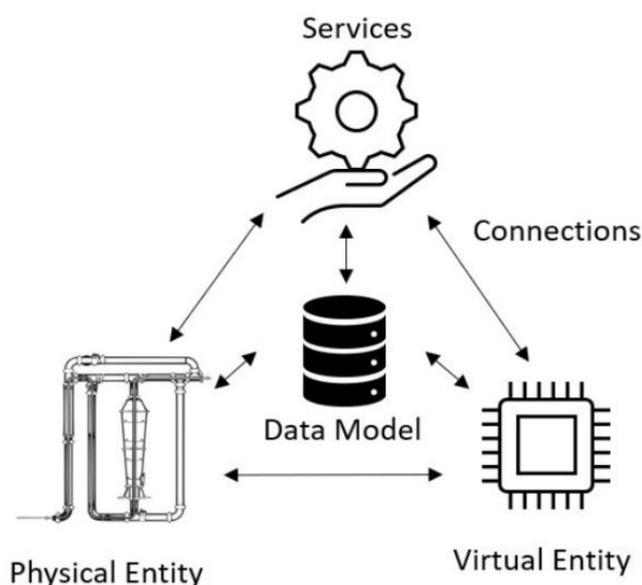


Abbildung 14: Das Konzept des fünf-dimensionalen DT [18]

## Referenzarchitekturmodell 4.0 (RAMI 4.0)

Das Referenzarchitekturmodell 4.0 beschreibt die wesentlichen Aspekte der vierten industriellen Revolution in einem dreidimensionalen Modell. Bedingt durch die rasante Entwicklung im Bereich der Industrie 4.0 wurde bereits eine Vielzahl an anwendungsspezifischen DT vorgestellt. Diese weisen in der Struktur zwar oft Gemeinsamkeiten auf, wurden aber separat ohne jegliches Grundlagenmodell erstellt. Hierfür soll das RAMI 4.0 als einheitliche und allgemeine Orientierungsgrundlage nicht nur bei der Kategorisierung von gewissen Standards und Funktionalitäten eines DT-Konzeptes, sondern auch allgemein für die Industrie 4.0 Abhilfe schaffen. Dadurch kann in den diversesten Branchen ein gemeinsames Verständnis für die Standards der Industrie 4.0 aufgebaut werden.

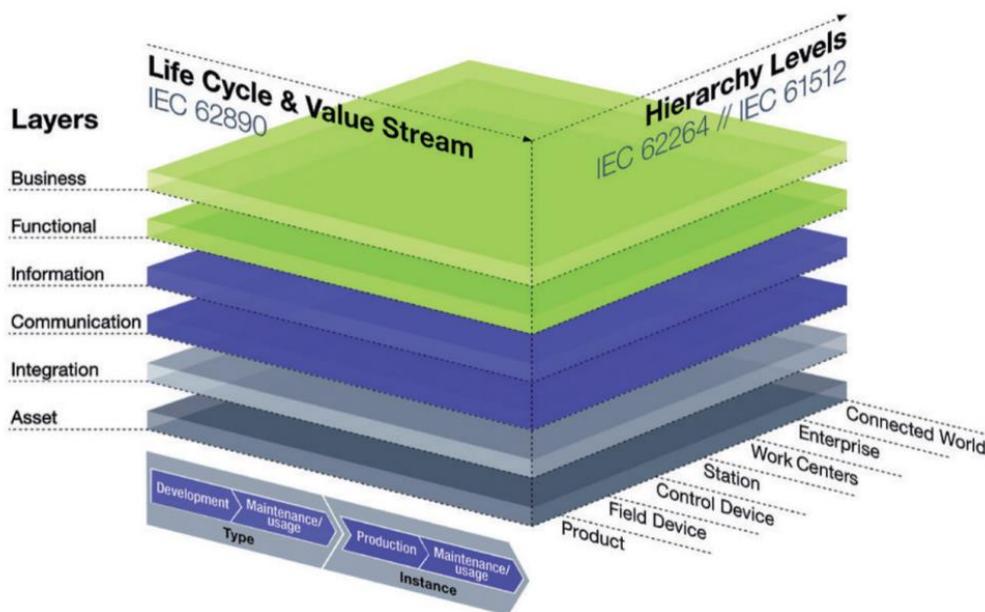


Abbildung 15: RAMI 4.0 3D-Modell [24]

Wie aus

Abbildung 15 zu entnehmen wird dieses Modell in drei verschiedene Achsen unterteilt: (vgl. [24])

### ■ Hierarchy Levels

In dieser Achse befinden sich die Hierarchiestufen der Integration von der Unternehmens-EDV, welche in der Normreihe IEC 62264 festgelegt worden sind. Die Stufen werden in Product, Field Device, Control Device, Station, Work Centers, Enterprise und Connected World unterteilt.

### ■ Life Cycle & Value Stream

Diese Achse berücksichtigt den Lebenszyklus von Erzeugnissen, welche in der Normreihe IEC 62890 definiert worden ist. Weiters ist eine Unterscheidung zwischen einem „Typ“ und einer „Instanz“ inkludiert. Verlässt ein Prototyp die Testphasen und geht in die Fertigung über, kann von einer „Instanz“ gesprochen werden.

### ■ Layers

Die charakteristische Darstellung in Schichten hat ihren Ursprung in der Informationstechnologie, in welcher standardgemäß aufwendige Strukturen oder Produkte in übersichtliche Schichten unterteilt werden. In diesen verschiedenen Schichten wird das digitale Abbild eines realen Objektes in den definierten Abschnitten (Assets, Integration, Communication, Information, Functional und Business) genauer beschrieben.

Aufbauend auf dem Referenzarchitekturmodell 4.0 wurde das Konzept der „Generic Digital Twin Architecture“ (GDTA) von Wissenschaftlern der Technischen Universität Wien vorgestellt. Ziel war es eine technologieunabhängige allgemeingültige Architektur speziell für Digitale Zwillinge zu erschaffen. Das Konzept der GDTA ist an die IT-Layers des RAMI 4.0 Modelles angelehnt. Da dieses Modell bereits als Referenzarchitektur vorgestellt wurde, wird mithilfe der Übernahme dieser Benennung ein gemeinsames und allgemeingültiges Verständnis für Digitale Zwillinge geschaffen. Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Ebenen und ihren Zusammenhängen wird in der Literatur [18] vorgestellt (vgl. [18]).

### Industrie 4.0-Komponente

Die Definition einer Industrie 4.0-Komponente bildet das erste Modell auf welchem das RAMI 4.0 basiert und beschreibt die genauen Eigenschaften eines CPS. Darüber hinaus beschreibt solch eine Industrie 4.0-Komponente wie sich ein Industrie 4.0-Produkt in ein Industrie 4.0-Netzwerk eingliedert. Eine der wichtigsten Eigenschaften ist die Kommunikationsfähigkeit des jeweiligen realen Objektes mit seinen dazugehörigen Daten samt ihren Funktionen. In diesem Modell werden deswegen die Industrie 4.0 konformen Bedingungen der Kommunikation von Soft- und Hardwareelementen festgelegt. Um eine für die Industrie 4.0 entsprechende Kommunikationsfähigkeit zu gewährleisten, müssen jegliche Daten über den gesamten Lebenszyklus einer Industrie 4.0-Komponente erfasst werden. Vielmehr müssen diese Daten in einem eigenen abgeschlossenen „Container“ gesammelt werden, welcher auch als „Verwaltungsschale“ bezeichnet werden kann. In dieser Schale befinden sich alle bedeutsamen Daten und Funktionen eines Soft- bzw. Hardwareelements und bilden zusammengefasst das virtuelle Abbild des realen

Gegenstücks. Mit dieser virtuelle Abbildung sollen die Informationen transparent für das Engineering als auch für den Betrieb und die Wartung bereitgestellt werden.

Zusammengefasst stellen die Verwaltungsschalen eine lückenlose Dokumentation der jeweiligen Industrie 4.0-Komponente dar, und kann jederzeit vom Betreiber als auch vom Hersteller erweitert werden. Des Weiteren bietet sich die Möglichkeit an, smarte Dienste zu integrieren, um neue Funktionen und Informationen zu erzeugen. Die Abbildung 16 zeigt einige Beispiele einer solchen Industrie 4.0-Komponente auf (vgl. [25]).

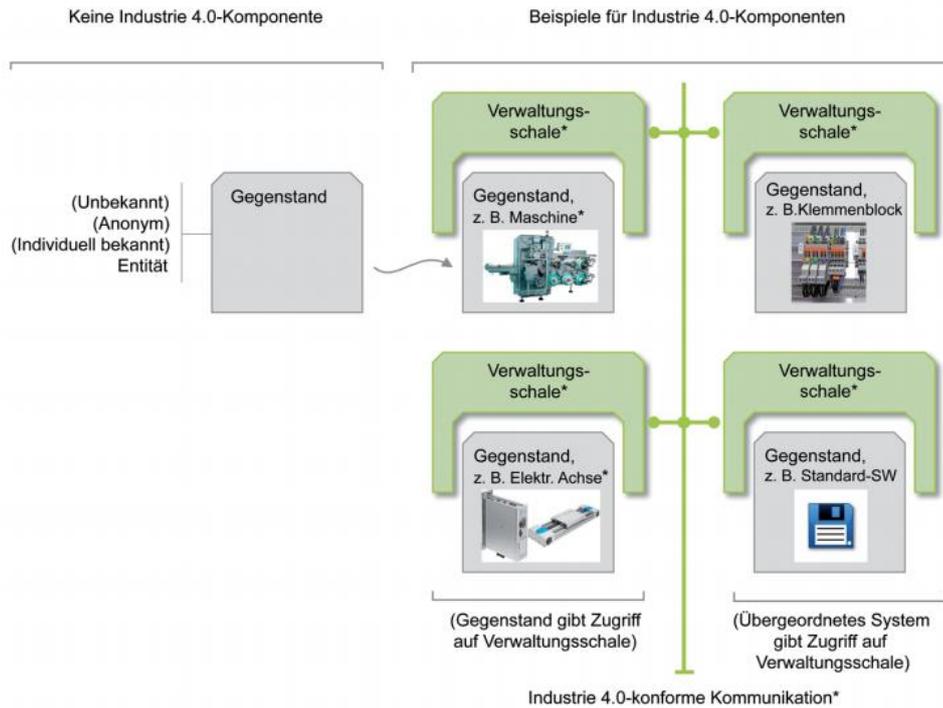


Abbildung 16: Vom Gegenstand zur Industrie 4.0-Komponente [25]

### 3 Zielsetzung

Diese Diplomarbeit bildet eine breitgefächerte Übersicht zum Thema der Digitalisierung von industriellen Produktionsanlagen mit dem Fokus auf die Datenverfügbarkeit und Datensicherung von solchen Extrusionslinien. Ziel dieser Arbeit ist die Erfassung, Identifikation und Bereitstellung aller vorhandenen Prozessdaten zweier ausgewählter Extrusionslinien. Mit Prozessdaten sind die Ist- und Soll-Werte der Anlagen gemeint. Diese gesammelten Prozessparameter werden anschließend mit den von der Firma vordefinierten Key-Process-Parameters (KPP's) abgeglichen. Diese KPP's werden vom Unternehmen als Schlüsselparameter definiert, da sie einen maßgeblichen Einfluss auf den Extrusionsprozess haben. Nach dem Abgleich wird deutlich welchen Werten eine elektronische Aufzeichnung fehlt.

Für ein vollständiges digitales Abbild, welches in Echtzeit betrieben werden soll, ist zusätzlich zur Datenanalyse, die Dokumentation vom Datenfluss entscheidend. Der Signalfuss des Sensors wird vom Ursprungsort bis zur Datenarchivierung als Flussdiagramm in dieser Arbeit vorgestellt. Mit diesen Informationen werden Schnittstellen ersichtlich, an welchen eine Datenbereitstellung für einen Digitalen-Zwilling möglich wäre.

Im Laufe der Datenflussanalyse wurde deutlich, dass eine der zwei betrachteten Linien keine kontinuierliche Datenbankanbindung besitzt. Aus diesem Grund wird weiters ein Proof-of-Concept in Form eines CSV-to-SQL-Parsers programmiert. Dieser ermöglicht für kommende Projekte eine geblockte Weiterleitung der CSV-Dateien in eine SQL-Datenbank.

Anschließend werden verschiedene Konzepte zur Datenerfassung und Datenbereitstellung, unter Berücksichtigung der Echtzeitfähigkeit, aus industriellen Produktionsanlagen vorgestellt. Da die genauen Datenanforderungen der geplanten virtuellen Abbilder noch nicht zur Gänze geklärt worden sind, wird darauf geachtet Erfassungsmöglichkeiten aus der Feldebene, Steuerungsebene und SCADA-Ebene zu berücksichtigen. Die ausgearbeiteten Varianten sollen für die darauffolgenden Projekte eine Entscheidungsgrundlage bilden um Unterstützung bei der Auswahl der gewünschten Lösung verschaffen.

Abgeschlossen wird dieses Projekt mit einem Ausblick, welcher die darauffolgenden Schritte der Digitalisierung behandelt.

## 4 Ist Zustands Analyse

Der praktische Teil dieser Diplomarbeit befasst sich im ersten Schritt mit einer Ist-Zustands Analyse aller verfügbaren Datenansammlungen von zwei Extrusionslinien der Firma Semperit. Ursprünglich war die Analyse von drei Produktionslinien geplant, durch Reisebeschränkungen, bedingt durch die Pandemie der Coronavirus-Krankheit COVID-19 [26], konnte dies jedoch nicht realisiert werden, da sich der Standort der dritten Linie in Deutschland befindet.

Arten von Daten die erfasst und zur Verfügung gestellt werden sollen:

- Prozessdaten
- Freigabedaten der Mischungen
- Rezepturen bzw. Maschineneinstelldaten
- Einflussfaktoren vom Menschen

Unter Prozessdaten versteht man alle Daten, die während einer Produktion an der Linie aufgezeichnet werden:

- Temperaturen
- Drücke
- Drehzahlen
- Liniengeschwindigkeit
- Etc.

Die Freigabedaten der Mischungen enthalten Informationen über die zu verarbeitende Kautschukmischung:

- Bestelldatum & Uhrzeit
- Mischer-Linie
- Mischverfahren
- Diverse Prüfverfahren, die kontrollieren, ob sich das zu verarbeitende Material in bestimmten Toleranzgrenzen befinden
- Artikelnummern, welche mit den Produktionsdaten verknüpft werden können.
- Etc.

In den Rezepttabellen bzw. Maschineneinstelldaten (Sollwerte) sind die Programmabläufe der Anlagen gespeichert:

- Betriebspunkt der Maschine
- Maximale Drehzahlen, Temperaturen, etc.
- Anfahrphase „Ramp-Up“ der Anlage
- Etc.

Im weiteren Schritt werden die gesammelten Erkenntnisse mit den von der Firma Semperit vordefinierten Key Process Parameters (KPP's) abgeglichen. Diese

Parameter werden als Schlüsselparameter bezeichnet, da sie maßgebende Einflüsse auf den Prozess der Extrusion haben. Die KPP's wurden bereits im Vorfeld firmenintern festgelegt und sollen somit den Standard der Extrusionsprozesse vorgeben. Mit diesem Abgleich soll gezeigt werden, wie vollständig die Datenüberwachung hinsichtlich der vordefinierten Standards bereits realisiert worden ist. Diese aus den Gegenüberstellungen gesammelten Ergebnisse werden dem Unternehmen übergeben und dienen als Grundlage für weitere Forschungsarbeiten.

Das Ziel dieses Gesamtprojektes beinhaltet die Realisierung eines Digitalen Zwillings dieser Anlagen. Aus diesem Grund wird in weiterer Folge der Datenfluss, angefangen in der Feldebene bis hin zur Datenbankeinspeisung in eine Datenbank genauer betrachtet. Die Motivation dahinter ist, herauszufinden ob die aktuellen Gegebenheiten der Hardware & Software von diesen Produktionslinien den Anforderungen eines Digitalen Zwillings und in weiterer Folge einem echtzeitfähigen System entsprechen. Parallel dazu werden diverse Speichermöglichkeiten von Prozessdaten einer industriellen Produktionslinie in Form von Konzepten vorgestellt. Diese Konzepte werden als Ausblick und Entscheidungsgrundlage für die kommenden Projekte dienen.

## 4.1 Ist Zustands Analyse in Bezug auf Datenverfügbarkeit

Im ersten Schritt werden die Datenbanken der Extrusionslinien auf ihre bereits bestehende Datenverfügbarkeit und der Art ihrer Datenarchivierung analysiert. Dieses Vorgehen dient dazu mögliche fehlende Datenaufzeichnungen für die zukünftigen Projekte zu identifizieren. Für einen ersten Gesamtüberblick und ein besseres Prozessverständnis wurden diese Anlagen mit Mitarbeitern der Firma Semperit besichtigt. Im Verlauf dieser Besichtigung wurde auch die Anlagensteuerung und das Aufzeichnungssystem der Sensordaten genauer betrachtet. Als Systemgrenze für diese Arbeit wurde der Extruder definiert, aus diesem Grund sind nachfolgende Prozesse wie z.B. die Vulkanisation nicht inkludiert.

Es ist zu beachten, dass nicht alle anfallenden Daten zum derzeitigen Zeitpunkt ausschließlich mit Sensorik aufgezeichnet werden können, da zusätzliche Daten durch die menschliche Betreuung und Führung der Produktionsanlagen entstehen.

Bei diesen Werten handelt es sich z.B. um:

- optische Erfassungen (Observierungen vom Wulst in der Fütterzone)
- korrigierendes Eingreifen auf Schwankungen in der automatisierten Füttereinheit
- temporäre Anpassungen der Rezepturen und Maschineneinstelldaten

Die besonderen Eigenschaften der Elastomere und die Komplexität dieser Extrusionsprozesse führen dazu, dass oft nur durch ein gutes Zusammenspiel aus vordefinierten Maschineneinstelldaten (Sollwerten) und den empirischen Erfahrungen des Maschinenführers die gewünschten Ergebnisse erzielt werden können. Die gesammelten Erkenntnisse, welche während der Produktion anfallen, liegen in der Verantwortung des Mitarbeiters diese kontinuierlich zu protokollieren.

Eine Analyse dieser vor Ort anfallenden Daten war anhand von Gesprächen und Interviews mit den zuständigen Mitarbeitern geplant. Aufgrund der derzeit herrschenden Pandemiebedingungen war es nicht möglich den Einflussfaktor Mensch für die Ist Analyse miteinzubeziehen. Für eine vollständige Datenerfassung darf dieser Einflussfaktor nicht fehlen und sollte bei sich bessernden Konditionen nachgeholt werden.

Der genaue Aufbau und die Funktionalität der Extrusionslinien wurde ausführlich in der ersten Diplomarbeit: „Wissensbasis eines Extrusionsprozesses für einen Digital Twin“ [27] dieses Gesamtprojektes beschrieben. Um Doppelungen zu vermeiden, wird in dieser Diplomarbeit für das Prozessverständnis nur auf die fundamentalen Eigenschaften dieser Anlagen eingegangen.

Die betrachteten Extrusionslinien sind:

1. Extrusionslinie 1 – Schlauchprofilextrusion
2. Extrusionslinie 2 – Profilextrusion mit Co-Extruder

### 4.1.1 Extrusionslinie 1 – Schlauchprofilextrusion

Die erste betrachtete Extrusionslinie befindet sich im Sektor Industrie im Bereich der Schlauchprofilextrusion. Die Hauptkomponenten des Extruders sind:

- Füttereinheit
- Antriebseinheit
- Schnecke
- Zylinder
- Spritzkopf
- Werkzeugscheibe

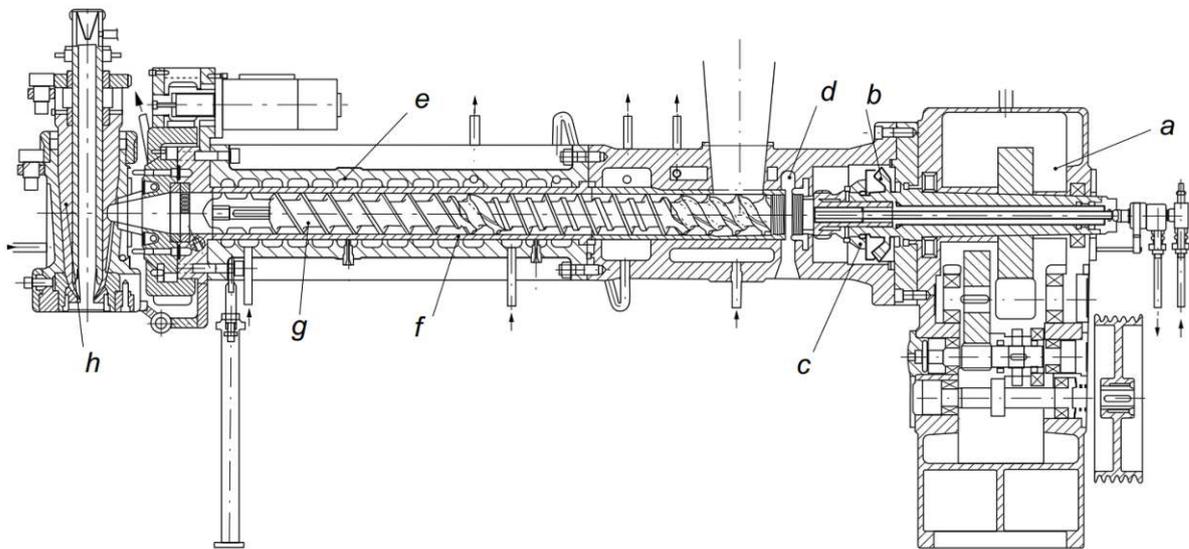


Abbildung 17: Technische Zeichnung eines Schneckenextruder samt Querspritzkopf.  
 a) Getriebe, b) Drucklager, c) Kupplungsglocke, d) Trichterstück (links davon der Trichter der Füttereinheit), e) Zylinder, f) Temperierbuchse, g) Schnecke, h) Querspritzkopf mit anschließender Werkzeugscheibe [5]

Der betrachtete Extruder ist zusätzlich mit Stiften samt Querspritzkopf ausgestattet. Die verbauten Stifte im Extruder haben die zusätzliche Funktion, die viskoelastischen Eigenschaften des zu verarbeitenden Materials zu beeinflussen. Diese Stifte erhöhen den Widerstand in Flussrichtung und erhöhen folglich die Scherrate der Kautschukmischung. Durch die zusätzlichen verursachten Scherkräfte kommt es zu einem Anstieg der Massetemperatur der Mischung. Sowohl mit verbauten Stiften als auch ohne können durch Drehzahlvariationen der Schnecke die viskoelastischen Eigenschaften des Extrudats zusätzlich beeinflusst werden (vgl. [5]).

Durch die Funktionsweise des Querspritzkopfes wird das Extrudat auf einen flexiblen Dorn extrudiert, welcher senkrecht zur Schnecke verläuft. Mittels dieses Prinzipes können Industrieschläuche in verschiedenen Innen- und Außendurchmessern hergestellt werden. Die Regelung dieses Gesamtprozesses nimmt in erster Hinsicht Einfluss auf zwei Produktionsparametern, der Abzugsgeschwindigkeit und der Drehzahl der Extruder Schnecke. Die Regelung wird mittels einer

Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS – CPU 315 F 2PN DP) der Produktfamilie von Siemens realisiert. Zusätzlich befinden sich eigenständige Regelungen der Füttereinheit, Temperiergeräte und der Position des Querspritzkopfes an der Produktionslinie. Die Visualisierung am Linienkontroll-Computer übernimmt das WinCC (Windows Control Center) als PC-basierende Software. Folglich werden die visualisierten Produktionsparameter aus der SCADA-Ebene (Supervisory Control and Data Acquisition) in eine firmeninterne Datenbank übertragen.

### **Datenverfügbarkeit**

Die Analyse der derzeit verfügbaren Ist-Daten hat ergeben, dass die Extrusionslinie 1 bereits eine Aufzeichnung in eine Datenbank enthält. Neben den Prozessparametern sind Maschineneinstelldaten, Rezepte, Protokolle für weitere Verarbeitungsschritte und eine Betriebsdatenerfassung vorhanden. Diese aufgezeichneten Daten werden in einer firmeninternen SQL-Datenbank hinterlegt. Bedingt durch neue Erweiterungen und kontinuierliche Optimierungsarbeiten an dieser Produktionsanlage, sind im Laufe der Zeit zusätzliche Produktionsparameter, welche auch in einer Datenbank aufgezeichnet werden, hinzugekommen. Dabei ist zu beachten, dass von all diesen neuen Implementierungen derzeit nur eine Teil eine praktische Verwendung findet. Weiters wurden diese Datenaufzeichnungen in eine bereits bestehende Datenbankstruktur eingepflegt. Diese wurden in die vorhandenen Tabellen der Datenbank angehängt. Eine Aussortierung der ungenutzten Werte und eine Umstrukturierung der Tabellen würde die Übersichtlichkeit der gesamten Datenbankstruktur begünstigen. Mit diesen Hintergrundinformationen wird bei der Erstellung der neuen Ist-Daten Liste auch auf eine sinnvolle Gruppierung der Aufzeichnungen geachtet.

Manuelle Korrekturen der Sollwerte während dem laufenden Betrieb sind am Liniencomputer in bestimmten Toleranzfeldern vom Mitarbeiter möglich. Hierfür hat man die minimalen und maximalen Toleranzgrenzen in den Maschineneinstelldaten vordefiniert. Diese Änderungen im Toleranzbereich werden aber zurzeit nicht automatisch in den Prozessdaten mitprotokolliert. Es sind für den Maschinenführer bestimmte Spalten dafür vorgesehen, solche Änderungen als Bemerkung zu notieren. Dies kann zur Folge haben, dass aus diversen Gründen nicht jede einzelne Änderung aufgezeichnet wird und die Produktion mit momentan, innerhalb der Toleranzgrenzen, veränderten Sollwerten verläuft. Da die temporären Änderungen der Sollwerte aus den Maschineneinstelldaten nicht aufgezeichnet werden, können aus diesen keine konkreten Schlussfolgerungen abgeleitet werden.

## **Ablauf der Datenanalyse**

Durchgeführt wurde diese Analyse anhand von einem Datenbankauszug, welcher als Backup zur Verfügung gestellt wurde. Dies war notwendig, da sich diese Produktionslinie während der Untersuchungen im laufenden Betrieb befand. Ohne eine Sicherung des Datensatzes würde das Risiko einer Betriebsstörung der Produktionsanlage ohne maßgeblichen Mehrwert erhöht werden.

Für eine Ersterhebung sind keine laufenden Produktionsdaten zwingend erforderlich, auch aufgrund der Tatsache, dass das erhaltene Backup sehr zeitnahe zum derzeitigen Datum erstellt wurde.

Zu Beginn wurden alle SQL-Tabellen vom erhaltenden Backup untersucht und nach ihrer Priorität evaluiert. Nach Absprache mit den Mitarbeitern der Firma Semperit und der Technischen Universität Wien hat man sich auf die Tabellen beschränkt, welche die Prozessparameter und Maschineneinstelldaten enthalten. Ein Grund für diese Entscheidung war, dass diese Tabellen den größten Satz an Rohdaten der Produktionsparameter enthalten. Außerdem beinhalten diese Tabellen die notwendigen Parameter für eine Modellierung eines Digitalen Abbild dieses Extruders. Die restlichen Tabellen setzten sich im großen Ausmaß aus errechneten Werten zusammen und dienen hauptsächlich für das Production-Monitoring. Im Laufe der Durchsicht ist man zur Erkenntnis gekommen, dass gewisse Einträge aus diesen Tabellen nicht eindeutig zuordenbar waren. Um eine vollständige Identifikation aller Einträge zu gewährleisten, wurde jeder abgespeicherte Wert aus den ausgewählten Tabellen überprüft und neu dokumentiert.

Das Ergebnis beinhaltet eine Liste mit folgenden Informationen:

1. Ursprünglicher Wert mit seiner Bezeichnung in der Datenbank
2. Übersetzung und Beschreibung dieses Eintrages
3. Die dazugehörige Einheit
4. Zusätzliche Bemerkung für Besonderheiten
5. Beispielauszug aus der Datenbank

Zusammengestellt wurde diese Liste mit Hilfe von Lastenheften der Produktionslinie und durch Zusammenarbeit mit den zuständigen Verfahrenstechnikern und Produktionsleitern dieses Extruders. Einträge, die trotz dieser Schritte weiterhin ungeklärt bzw. nicht eindeutig bestätigt werden konnten, wurden mittels Abgleiches vom Produktionscomputer und den Backupdaten realisiert. Als eindeutiger Identifikator ist der Zeitstempel des jeweiligen Eintrages herangezogen worden. Hierfür wurden die gesicherten Produktionsparameter mit den vorher erstellten Screenshots aus der WinCC Oberfläche bei gleichem Zeitstempel verglichen. Somit konnten die Werte mit einem Ausschlussverfahren eindeutig zugeordnet und protokolliert werden.

Zur Absicherung und für eine finale Kontrolle der neuen erstellten Liste, wandte man sich an den Anlagenhersteller des Extruders, um die genaue Projektdokumentation der zu derzeit realisierten Anlagenversion zu beantragen. Diese wurden zusätzlich mit den firmeninternen Projektinformationen abgeglichen. Somit wurde die erstellte Dokumentation mit der ersten Version der Anlage und den hinzugekommenen Erweiterungen, welche in den Lastenheften niedergeschrieben worden sind, verglichen und bestätigt.

### **Datenfluss der Extrusionslinie 1**

Anhand eines Beispiels soll erläutert werden, wie die Informationen von einem Sensor aus der Feldebene als Eingangssignale für die Steuerung der SPS in der Steuerungsebene, bis hin zur Archivierung der Daten in einer Datenbank gelangen. Für eine exemplarische Darstellung des Datenflusses dieser Anlage wurde ein Temperatursensor (PT100) herangezogen, welcher die Massetemperatur an einem bestimmten Punkt des Extruders erfasst (siehe Abbildung 18).

Grundsätzlich kann der Informationsfluss für die meisten Sensoren gleich betrachtet werden, es ist nur zu unterscheiden, ob es sich bei diesem Signal um ein analoges oder digitales Signal handelt. Dementsprechend unterscheiden sich die Arten des Anschlusses an das verbaute Peripheriesystem SIMATIC ET 200 der Firma Siemens. Im beobachteten Fall liefert der Sensor ein analoges Signal an die zuständige CPU - 315 F 2PN DP. Angeschlossen ist der Temperatursensor an einer I/O-Device von der Produktfamilie Siemens, die an einer Dezentralen Peripherie (DP) hängt. Für eine Kommunikation mit der Hauptrechenzentrale, also der CPU - 315 F 2PN DP ist ein Interfacemodul notwendig. Dieses liefert mittels PROFIBUS die zu verarbeitenden Informationen. Da noch weitere Anwendungen an diesem System verbaut sind ist zwischen der CPU und dem Human Machine Interface (HMI) ein Switch verbaut. Schlussendlich werden die visualisierten Produktionsdaten im Windows Control Center mittels Ethernet Verbindung auf einen Datenbankserver weitergeleitet.

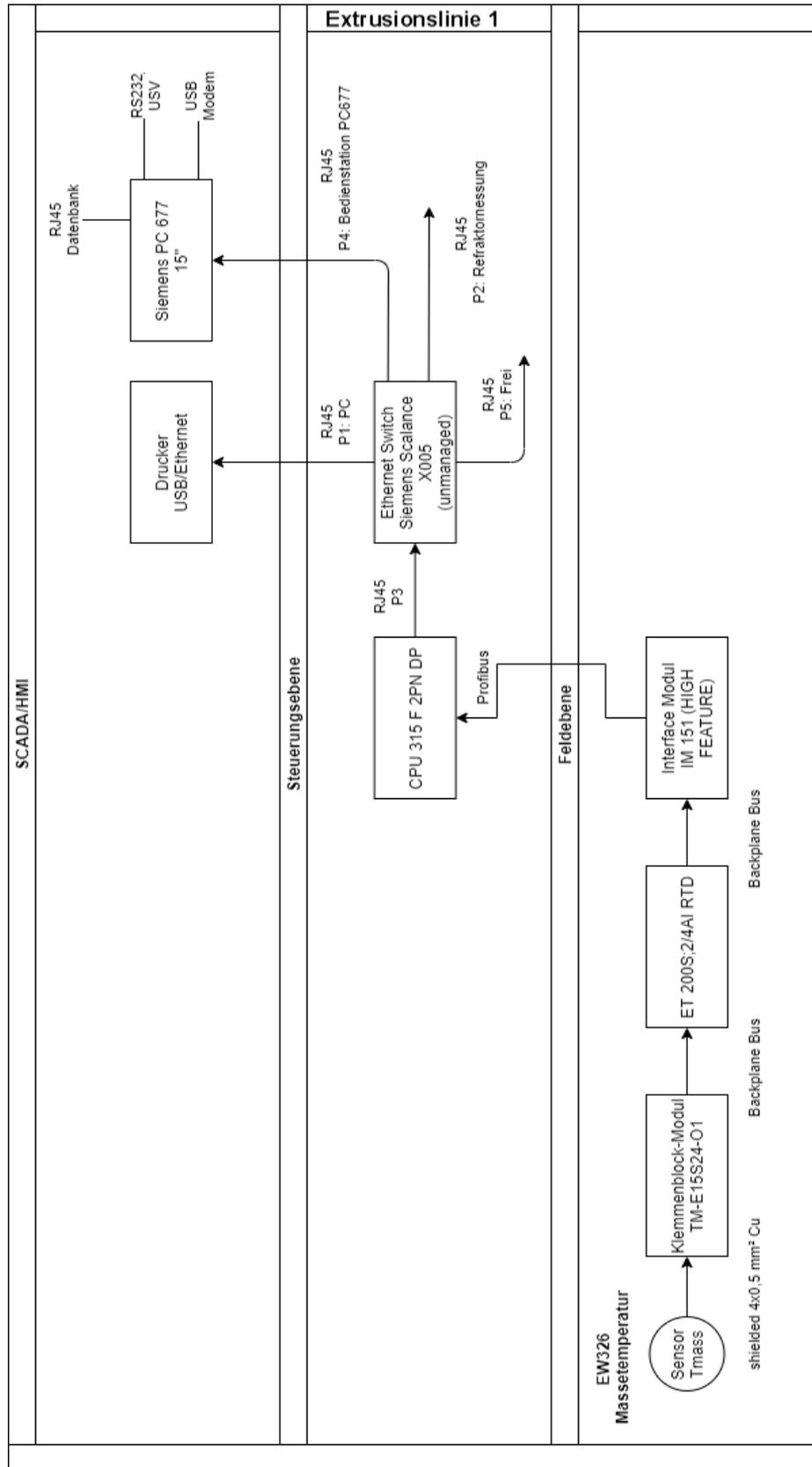


Abbildung 18: Datenfluss vom Sensor bis hin zur Visualisierung in der SCADA Ebene der Extrusionslinie 1 – Schlauchprofilextrusion

## 4.1.2 Extrusionslinie 2 – Profilextrusion mit Co-Extruder

Die zweite betrachtete Extrusionslinie befindet sich im Sektor Industrie im Bereich der Profilextrusion. Im Gegensatz zur ersten Extrusionslinie ist die zweite Linie mit einer Vakuumpumpe, Zahnradpumpe und einem Co-Extruder ausgestattet. Die Vakuumpumpe wurde beim Haupt- und Co-Extruder verbaut und liegt zwischen der Zylinderzone 1 und Zylinderzone 2. Sie hat die Aufgabe flüchtige Bestandteile, wie zum Beispiel, eingeschlossene Gase mittels Unterdrucks aus der Kautschukmischung zu extrahieren. Dadurch kann das zu verarbeitende Material weiter homogenisiert werden, um in der anschließenden Vulkanisation eine mögliche Porenbildung zu verhindern (vgl. [5]).

Eine Zahnradpumpe ermöglicht eine Entlastung des Extruders, genauer gesagt der Schnecke, da diese nicht mehr für den entscheidenden Druckaufbau zuständig ist. Mittels Zahnradpumpe ist kurz vor der Werkzeugscheibe ein signifikanter Druckaufbau des Materials möglich, welcher die Extrusion in mehreren Aspekten begünstigt. Einerseits entkoppelt die Zahnradpumpe die vorher benötigten Betriebsverhältnisse der Schnecke, da der Druckaufbau nicht mehr vollständig von der Schnecke abhängig ist. Andererseits kann damit die Produktqualität gesteigert werden, indem erhöhte Scherung vor der Werkzeugscheibe eine gleichmäßigere Homogenisierung und Bereitstellung der Kautschukmischung ermöglicht. Zu beachten ist, dass die Pumpe als ein zusätzlich verbautes Element weiterer Wartungen bedarf und somit auch ein zusätzliches Störungspotenzial vom Gesamtsystem aufweist.

Der Co-Extruder ist als eigene Einheit ein zweiter Extruder, welcher an dieser Produktionslinie verbaut wurde. Er ist identisch zum Hauptextruder und unterscheidet sich nur in seinen kleineren Abmaßen. Außerdem sind im Co-Extruder keine Stifte verbaut. Co-Extrusion kommt immer dann zum Einsatz, wenn ein Produktionsauftrag aus zwei zusammengesetzten Kautschukmischungen gewünscht ist. Hierfür gibt es speziell angefertigte Extrusionsköpfe, welche Auslassöffnungen für den Co-Extruder beinhalten. Die zusammengeführte Mischung fließt dann gemeinsam durch die Werkzeugscheibe und bildet das gewünschte Extrudat.

### Datenverfügbarkeit

Für die Analyse der Ist Daten der zweiten Linie wurde ebenfalls ein Backup eines SQL-Datensatzes beantragt. Eine Datenbank der Extrusionslinie 2 ist zwar in einer vordefinierten Form firmenintern vorhanden, liegt aber zurzeit noch binär verschlüsselt vor. Zum Kaufzeitpunkt der Produktionslinie wurde diese Anbindung nicht gefordert, ist aber im Gesamtprojekt verschlüsselt mitinkludiert worden. Es ist dadurch nicht möglich die Anlagendaten in einem Datenbankprogramm zu öffnen und weiter zu verarbeiten.

Obwohl beim Kauf der Anlage keine kontinuierliche Datenanbindung erwünscht war, hat man sich auf eine Lösung geeinigt die Produktionsparameter mit Hilfe von CSV-Files lokal auf den Produktionsrechner zu extrahieren. Das einfach strukturierte Dateiformat wird von Verfahrenstechnikern und Produktionsleitern für weitere Analysen lokal abgegriffen und anschließend ausgewertet. Für die alltägliche Steuerung der Anlage reichen die Visualisierungen und Trenddarstellungen am Liniencomputer, welche mittels WinCC realisiert werden. Umfangreiche empirische Auswertungen der Produktionsdaten und ein machine learning ist jedoch mit diesen Gegebenheiten nicht möglich.

Es gilt noch zu klären, welches genaue Upgrade für die Freischaltung einer kontinuierlichen Datenanbindung notwendig ist. In Erstgesprächen mit den zuständigen Anbietern wurde auf ein Softwareupgrade verwiesen. Nach Identifikation der genauen zu upgradenden Software, kann dieses Softwarepaket somit erworben und in einem kommenden Projekt inkludiert werden. Da dieses Anliegen im Rahmen der Diplomarbeit aus zeitlichen Gründen nicht realisiert werden konnte, wurde eine Zwischenlösung konzipiert. Die lokalen CSV Dateien wurden mithilfe der im Kapitel 5 beschriebenen SQL Parsers eigenständig für weitere zukünftige Analysen auf einen firmeninternen SQL-Server weitergeleitet.

### **Ablauf der Datenanalyse**

Mit der vorher beschriebenen Ausgangssituation konnte in erster Hinsicht nur eine Analyse der CSV Dateien durchgeführt werden. Der erste Datensatz wurde mithilfe von einer Exportfunktion aus dem WinCC des Liniencomputers zur Verfügung gestellt. Diese Daten erwiesen sich aber als unvollständig und konnten nur in vordefinierten Gruppierungen abgelegt werden. Es besteht weiters die Möglichkeit einen vollständigeren CSV Datensatz zu erhalten, welcher für die Sicherung der Produktionsdaten an dieser Anlage zuständig ist. Durchgeführt wird solch eine Sicherheitskopie indem nach jedem geschriebenen Eintrag die CSV Datei beim Schließen automatisch abgespeichert wird. Bevor der nächste Eintrag wieder möglich ist, wird die CSV-File wieder automatisch geöffnet, um erneut beschrieben zu werden. Dies bringt den Vorteil, dass falls eine plötzliche Betriebsstörung die Aufzeichnungen unterbrechen sollte, zumindest die letzten Werte abgelegt und sichergestellt werden.

Der Datensatz der Sicherheitskopie enthielt deutlich mehr Einträge als die ersten CSV-Files, die mit der Exportfunktion extrahiert wurden und deckte einen großen Teil der Prozessdaten ab. Parallel dazu wurde auch eine Kopie der Maschineneinstelldaten beantragt und für die Analyse zur Verfügung gestellt. Ähnlich wie bei der Extrusionslinie 1 wurden die Tabellen mit den Prozessdaten und den Maschineneinstelldaten analysiert. Da die Prozessdaten nur anhand von CSV Dateien zur Verfügung gestellt werden konnten, war keine eindeutige Beschreibung dieser

Werte vorhanden. Eine zusätzliche Herausforderung war es den jeweiligen Datensatz zum Extruder bzw. Co-Extruder zuzuordnen. Mithilfe von Screenshots aus der WinCC Umgebung, dem zuständigen Produktionsleiter und Verfahrenstechnikern wurden diese Werte identifiziert und neu dokumentiert. Hierfür wurde wieder als eindeutiger Identifikator der Zeitstempel vom jeweiligen Eintrag herangezogen. Werte, die weiterhin ungeklärt blieben, wurden in Zusammenarbeit mit Verfahrenstechnikern mit gezielten Tests an der Produktionsanlage festgestellt.

Tests die an der Extrusionslinie durchgeführt wurden:

- Gezieltes Ein- und Ausschalten bestimmter Anlagenkomponenten
- Abklemmen vereinzelter Sensorik
- Genaue Beobachtungen der WinCC Auswertungen bei laufender Produktion
- Rückschlüsse aus empirischen Produktionsdaten

Die Maschineneinstelldaten, also die Sollwerte des Produktionsauftrages, konnten mithilfe von Lastenheften und Dokumentation der Extrusionslinie vollständig dokumentiert werden. Zu beachten ist, dass manche Solleinträge nicht in den Maschineneinstelldaten im WinCC zu finden waren. Deswegen wurde bei der Dokumentation zusätzlich darauf geachtet den richtigen Ursprungsort des jeweiligen Wertes mit zu notieren.

Das Ergebnis beinhaltet eine Liste mit folgenden Informationen:

1. Ursprungsort des jeweiligen Eintrages
2. Ursprünglicher Wert mit seiner Bezeichnung im CSV-File
3. Übersetzung und Beschreibung dieses Eintrages
4. Die dazugehörige Einheit
5. Zusätzliche Bemerkung für Besonderheiten
6. Beispielauszug aus der Datenbank

### **Datenfluss der Extrusionslinie 2**

Anhand von einem Exempel soll erläutert werden, wie ein Sensorsignal aus der Feldebene mit der zuständigen SPS in der Steuerungsebene kommuniziert und bis hin zur Visualisierung in die SCADA Ebene verläuft. Als Beispielsignal wurde für diese Extrusionslinie ein Massedruck ausgewählt, welcher mit einem Drucksensor erfasst wird. Der Verlauf des Sensorsignals ist grafisch in Abbildung 19 dargestellt.

Der ausgewählte Drucksensor ist ein passiver Sensor und erzeugt erst ein Ausgangssignal, wenn eine externe Leistung anliegt. Mit einem Wechselstromsignal wird der Sensor erregt, wodurch es zu einer Änderung der Induktivität in den Sensorspulen führt. Daraus entsteht ein kleines Wechselstromsignal, welches zum angelegten Druck proportional ist. Das Ausgangssignal bildet sich aus einem Verhältnis

zwischen erzeugten Wechselstromsignal und angelegtem Erregungssignal und liefert somit ein 3.3 mV/V Ausgangssignal (vgl. [28]).

Um dieses Signal weiterverarbeiten zu können, fließt dieses in ein Messverstärkermodul der Firma Feller Engineering. Dort wird das schwache Signal verstärkt und anschließend in ein normiertes Gleichstromsignal umgewandelt. Das normierte Signal wird in ein analoges Klemmblockmodul weitergeleitet, welches an einer dezentralen Peripherie ET 200M angeschlossen ist. Damit die dezentrale Peripherie ET 200S mit der CPU 315 – 2PN/DP (zwei PROFINET Anschlüsse & Dezentrale Peripherie) kommunizieren kann, wurde ein Interface Modul IM153 – 4 PN (vier PROFINET Anschlüsse) verbaut.

Die zweite betrachtete Extrusionslinie ist im Vergleich zur ersten moderner ausgestattet. Im Bereich der Systemgrenze sind deutlich mehr Module der dezentralen Peripherie verbaut, die überwiegend mit einem PROFINET Anschluss kommunizieren. Des Weiteren ist für die nachfolgenden Prozesse eine Can-Bus Kommunikation an dieser Anlage verbaut. Dies hat zur Folge, dass das Signal deutlich mehr Switches durchlaufen muss, bis es in der SCADA Ebene visualisiert werden kann.

In Abbildung 19 ist der anschließende Weg aus der SCADA Ebene in die Datenbank nicht angeführt, da beim aktuellen Stand durch die Verschlüsselung der Datenbank der eindeutige Weg nicht bekannt ist. Es ist davon auszugehen, dass das Windows Control Center auf die Datenbausteine im SPS Ladespeicher zugreift und diese in eine Datenbank weiterleitet.

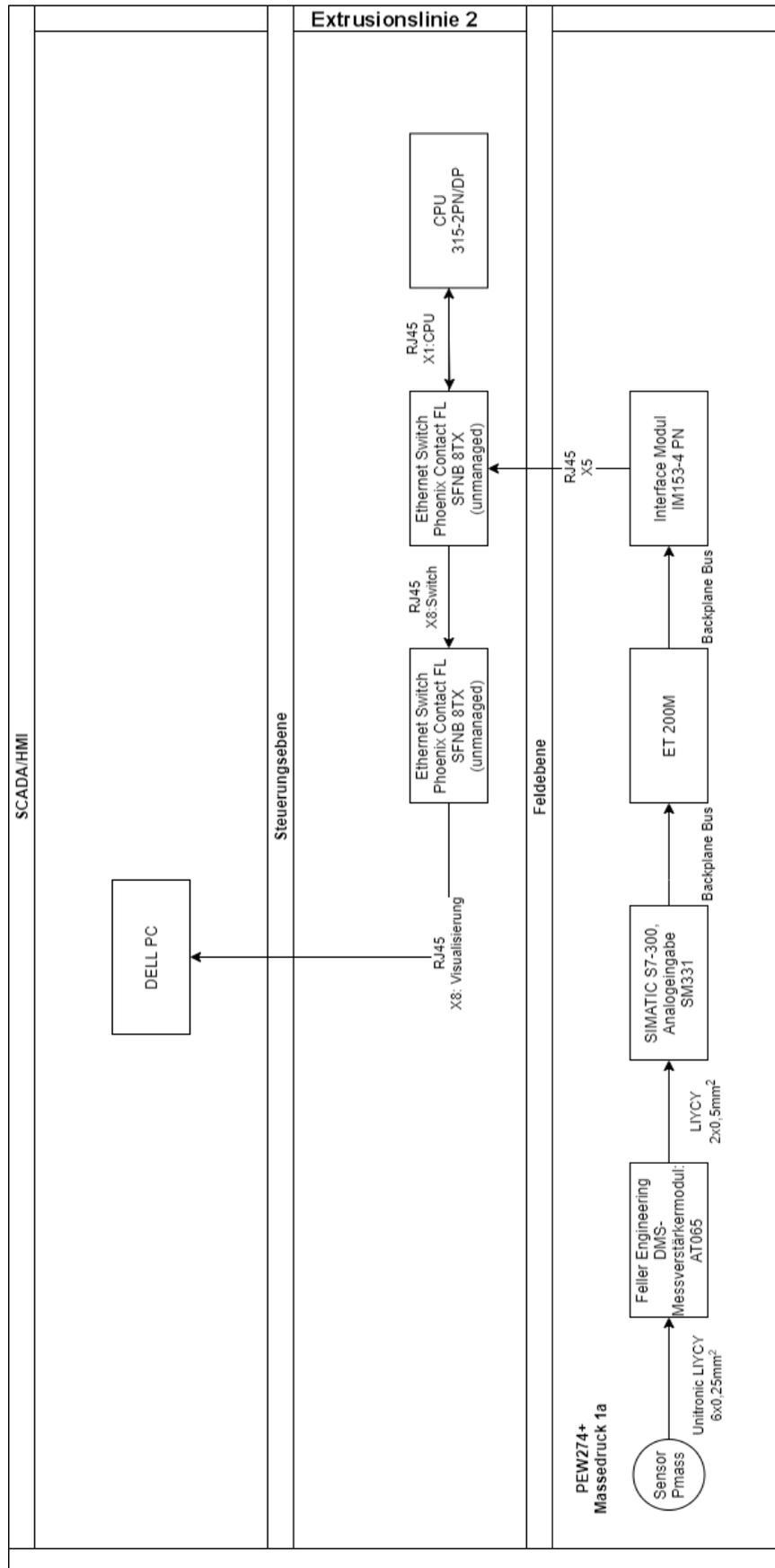


Abbildung 19: Datenfluss vom Sensor bis hin zur Visualisierung in der SCADA Ebene der Extrusionslinie 2 – Profilextrusion mit Co-Extruder

## 4.2 Abgleich der vorhandenen erfassten Daten mit den vordefinierten KPP's

Die Firma Semperit deckt mit ihrem umfangreichen Angebot an verschiedensten Kautschukerzeugnissen viele Produktionsbereiche ab. Trotz dieser Vielzahl an Kautschukerzeugnissen können speziell in der Schlauch- und Profilextrusion die Prozessparameter zu einem einheitlichen Satz an Produktionsparametern zusammengefasst werden. Infolgedessen wurde firmenintern eine Liste mit Schlüsselparametern für den Kernprozess Extrusion definiert. Diese Schlüsselparameter sollen nicht nur bei jeder Produktion in diesem Bereich vorkommen, sondern müssen auch aufgezeichnet und archiviert werden.

Die in der Liste vorkommenden Parameter werden als Key Process Parameter (KPP's) definiert, da diese einen maßgeblichen Einfluss auf das Produktergebnis haben. Für speziellere Anwendungsfälle, die nur für einen gewissen Produktionsbereich gelten, wird die Liste um diese Parameter erweitert. Somit kann ein eindeutiger Standard über alle Extrusionsprozesse vorgeschrieben werden.

Die KPP's werden in Abhängigkeit der einzelnen vorkommenden Einheiten der Werte gruppiert. Somit entsteht eine Liste mit folgenden Parametern:

- Geschwindigkeiten
- Temperaturen
- Drücke
- Drehzahlen
- Geometrien
- Erweiterte KPP's für den speziellen Anwendungsfälle

Mit diesem Abgleich soll gezeigt werden, ob die vordefinierten Werte auch tatsächlich elektronisch an den untersuchten Linien vorkommen und in eine Datenbank abgelegt werden.

### 4.2.1 Auswertung

Nachdem die in Kapitel 4.1 beschriebene „Ist Zustands Analyse in Bezug auf Datenverfügbarkeit“ an beiden Produktionslinien abgeschlossen worden ist, wurden die gesammelten Werte mit den KPP's abgeglichen. Da die vordefinierten KPP's vor den Beobachtungen in dieser Diplomarbeit entstanden sind, war es nicht immer einfach den tatsächlichen Prozessparameter, durch die Abweichungen im Aufbau der Extrusionslinien, zum KPP zuzuordnen.

Allgemein kann gesagt werden, dass bei beiden Extrusionslinien ein großer Teil der untersuchten Werte mit der Key Process Parameter Liste übereinstimmt.

### **Extrusionslinie 1 – Schlauchprofilextrusion**

Der erste Abgleich hat ergeben, dass die KPP's für die Extrusionslinie 1 sehr gut abgedeckt sind. Bis auf einen vorgeschriebenen Druck in der Fütterzone, eine Wulstüberwachung und kleine Abweichungen in den Erweiterten-KPP's sind alle anderen Werte elektronisch vertreten.

Die Fütterzone wird mit einem Stiftdruck-Sensor überwacht und schlägt Alarm, falls der Druck in der Füttereinheit den Toleranzbereich verlässt. Dieser Fall tritt bei einer Unter- bzw. Überfütterung der Extruders ein. Momentan wird dieser Sensor nur für Überwachungszwecke verwendet und es findet keine Speicherung dieser Druckwerte in einer Datenbank statt.

Eine kleinere Abweichung am Pyrometer, welcher für die Messung der Oberflächentemperatur des Extrudats direkt nach der Werkzeugscheibe genutzt wird, ist auch vorhanden. Eine Oberflächentemperatur wird als Richtwert in den Maschineneinstelldaten (Sollwert) vorgegeben. Der tatsächlich gemessene Wert ist in der speicherprogrammierbaren Steuerung miteingebunden und wird mit einem Soll/Ist-Abgleich als ein weiterer Kontrollmechanismus genutzt. Es fehlt lediglich die Weiterleitung des tatsächlich gemessenen Wertes in die Datenbank.

Weiters wird in den KPP's eine Wulstüberwachung in der Fütterzone vorausgesetzt. Beim Einziehen der Kautschukmischung in den Extruder bildet sich ein Materialwulst über dem Spalt zwischen Speisewalze und Extruderschnecke. Anhand der optischen Überwachung des Wulstes in der Fütterzone, kann der Maschinenführer Aussagen zur Unter- bzw. Überfütterung des Extruders treffen. Dieser Beobachtungsvorgang vom entstehenden Wulst in der Fütterzone ist nicht automatisiert und dokumentiert, er wird während der Produktion vom Mitarbeiter in regelmäßigen Abständen durchgeführt.

### **Extrusionslinie 2 – Profilextrusion mit Co-Extruder**

Der Abgleich der KPP Liste mit der Extrusionslinie 2 hat ergeben, dass ähnlich wie bei der Extrusionslinie 1 viele essenzielle Parameter bereits abgedeckt werden. Zu erwähnen ist, dass beim Exportieren der Zwischenlösung mittels CSV-Format die Beschriftung mancher Werte nicht mit den tatsächlichen übereingestimmt hat. Speziell die Beschriftung der Temperierungen von der Zahnradpumpe und Werkzeugscheibe wurden nicht richtig gewählt. Anhand von der Ist Analyse wurden die falsch übersetzten Werte korrigiert und in der neuen erstellten Liste mit richtiger Bezeichnung eingefügt.

Key Process Parameter die derzeit nicht von der elektronischen Datenerfassung abgedeckt sind:

- Temperierung von Zahnrädern und Gehäuse der Zahnradpumpe
- Identifikation der Werkzeugnummer
- Wulstbeobachtung
- Linienmodus
- Stromverbrauch von Extruder und Zahnradpumpe
- Temperierung der Vakuumzone

Laut den definierten Standards ist eine Temperaturaufzeichnung von den Zähnen der Zahnradpumpe und ihrem Gehäuse separat gefordert. Diese wird derzeit nicht realisiert, da nur eine Temperatur der gesamten Zahnradpumpe erfasst wird. Eine Identifikation der Werkzeugnummer (Profilgeometrie) wird ebenfalls nicht elektronisch mitdokumentiert, diese ist lediglich in den Maschineneinstellenden als Produktionsvorschrift vorgegeben. Mit welcher Werkzeugscheibe gearbeitet wurde, ist daher nicht elektronisch nachweisbar. Die anhand der Extrusionslinie 1 beschriebene Wulstbeobachtung, wird ebenfalls rein optisch erfasst und nicht protokolliert. Weiters ist aus den Ist-Werten keine Aussage zum derzeitigen Linienmodus zu entnehmen. Dies ist besonders wichtig, da sonst die Prozesswerte im falschen Zusammenhang interpretiert werden können. Der Linienmodus gibt Auskunft in welcher Phase sich derzeit die Anlage befindet, also z.B. im Anfahrmodus oder im Produktionsmodus. Da sich die Prozessparameter anhand vom Linienmodus verändern gilt es diesen Zusammenhang herzustellen. Stromverbrauch der Motoren vom Extruder und der Zahnradpumpe werden am Liniencomputer im WinCC visualisiert, aber nicht in die CSV Dateien protokolliert. Schlussendlich ist laut den KPP's eine Temperaturbeobachtung der Vakuumzone zwischen den beiden Zylinderzonen gefordert. Hier kann derzeit kein eindeutiger Wert erfasst werden, da nur eine Durchschnittstemperatur der Zylinderzone 1, der Fütterzone und der Vakuumzone abgespeichert wird.

## 4.2.2 Auswirkungen

Um ein vollständiges digitales Abbild dieser Extrusionslinien zu gewährleisten, müssen alle Schlüsselparameter in einer Datenbank vorliegen. Demzufolge sollten die oben angeführten fehlenden Parameter nachträglich implementiert werden. Einige geforderten KPP's werden am Liniencomputer bereits visualisiert, für diese gilt es nur noch eine kontinuierliche Datenbankanbindung auszuarbeiten. Für die restlichen Parameter, die im WinCC nicht dargestellt werden, gilt es eine passende Überwachungsform nachträglich einzubauen.

### **Extrusionslinie 1 – Schlauchprofilextrusion**

Ein leicht ergänzbarer KPP der Extrusionslinie 1 ist der Drucksensor für die Beobachtung der Füttereinheit, da er bereits als Wert an der Anlage erfasst wird. Allerdings wird der gemessene Wert nur zum Vergleich herangezogen und benötigt für eine Aufzeichnung eine Implementierung in die Datenbankaufzeichnung.

Ähnlich wie der fehlende Druck in der Fütterungszone, ist der fehlende Eintrag der geforderten Oberflächentemperatur, welche anhand von einem Pyrometer erfasst wird, durch eine Einbindung in den gewünschten Datensatz der Datenbank durchzuführen.

Eine weitere Herausforderung besteht für die optische Begutachtung der Wulstbildung in der Füttereinheit. Die elektronische Erfassung dieses Schlüsselparameters gestaltet sich in mehreren Bereichen problematisch. In erster Linie können konkrete Aussagen zur Unter- oder Überfütterung des Extruders nur durch erfahrenen Maschinenführer getätigt werden. Anschließende Handlungen basieren auf dieser rein optischen Beobachtung. Mittels einem Kamerasystem könnte man eine automatische Beobachtung realisieren, hierbei ist zu beachten, dass die Wulstbildung kontinuierlich verschiedene Zustände annimmt und somit kein stationärer Prozess vorliegt. Um die wechselhaften Zustände des Wulstes zu protokollieren und maschinell auszuwerten, bedarf es in diesem Bereich genauerer Forschung.

### **Extrusionslinie 2 – Profilextrusion mit Co-Extruder**

An der zweiten Extrusionslinie konnten ebenso Potentiale aufgezeigt werden. Manche angeführten Punkte gehören in kommenden Projekten genauer evaluiert, ob eine Änderung einen Mehrwert erzielen würde. Speziell geht es hier um die Temperierungseinheiten, da hier eine separate Beobachtung laut den KPP's gefordert wird. Als Beispiel für diesen Fall wird die Zahnradpumpe herangezogen, welche mit einem einzigen Regelkreis temperiert wird.

Eine Separation der Temperierungen von Zahnrädern und Gehäuse würde im Vergleich zum Implementierungsaufwand und den Kosten einer zusätzlichen Temperier-Einheit gegeben falls keinen deutlichen Mehrwert liefern. Der Grund dafür ist, dass die Temperaturdifferenz durch das massive Zahnradpumpengehäuse und den geringen Abstand zwischen Zahnrädern und Gehäuse gering ausfallen würde. Somit könnte man durch den Verzicht einer separaten Temperierung Ressourcen sparen.

Weitaus wichtiger ist die Einbindung der verwendeten Werkzeugnummer des Produktionsauftrages, da diese nur in den Maschineneinstelldaten als Vorschrift vorliegt. Hierfür könnte man den bereits vorliegenden Wert in die Ist-Datensicherung weiterleiten. Somit kann ohne genaue Kenntnisse des Produktionsplanes klar

zugeordnet werden, welches Werkzeug zu den entstandenen Prozessparametern verwendet wurde.

Die Wulstbeobachtung ist wie anhand von der Extrusionslinie 1 beschrieben gleich kritisch zu betrachten.

Im Gegensatz zur ersten Linie findet man in den Prozessdaten dieser Anlage keinen hinterlegten Linienmodus, welcher Auskunft zum derzeitigen Betriebszustand der Anlage gibt. Um korrekte automatische Auswertungen der Prozessdaten zu gewährleisten, ist die Bekanntgabe des derzeitigen Linienmodus eine Voraussetzung.

Schlussendlich werden laut den definierten Standards die Stromverbräuche der Motoren gewünscht. Diese sind bereits im WinCC implementiert und benötigen nur noch eine Weiterleitung in die Datenbank.

## 5 Proof of Concept: Python Programm, um lokale CSV Daten in eine MS SQL-Datenbank zu parsen

Im Laufe der Ist-Daten Analyse wurde bei einer der zu betrachtenden Extrusionslinien festgestellt, dass keine kontinuierliche Datenanbindung vorhanden ist. Derzeit werden die Prozessdaten mittels CSV-Format manuell exportiert, um weitere Prozessanalysen zu ermöglichen. Aus diesem Grund wird in einem Proof-of-Konzept ein „CSV-to-SQL-Parser“ programmiert. Dieses Programm kann die vorhandenen CSV Dateien einlesen, nach Bedarf verändern und anschließend in eine firmeninterne Datenbank einspielen. Mittels dieses Konzeptes soll die Wichtigkeit einer bestehenden kontinuierlichen Datenaufzeichnung in eine Datenbank hervorgehoben werden.

### 5.1 Motivation

Anhand des im Rahmen dieser Diplomarbeit erstellten Parsers ist es möglich weitere und effektivere Operationen in Bezug auf das Datenmanagement durchzuführen. Datenbanken sind gegenüber Textdateien standardisierter und in Bezug auf Datenoperationen wesentlich schneller. Deutlich werden diese Vorteile bei größeren Datensätzen, wie in diesem Fall, bei welchem der betrachtete Umfang einem Datensatz von mehreren Jahren entspricht.

Für eine digitale Abbildung einer solchen Anlage ist es wichtig alle möglichen Daten aus der realen Umgebung einheitlich und verknüpft zur Verfügung zu stellen. Dies kann in weiteren Schritten ermöglicht werden, indem die bereits vorliegenden Freigabedaten der Mischungsdaten zu den Prozessdaten zugeordnet werden. Zusätzlich ist es möglich verfahrenstechnische Daten in Form eines Production-Monitoring besser zu gestalten. Zu beachten ist, dass diese CSV Dateien weiterhin lokal an der Produktionslinie abgespeichert werden und noch keine automatische Weiterleitung der Daten auf ein Firmennetzwerk stattfindet. Aus diesem Grund kann zum jetzigen Zeitpunkt noch keine vollautomatische Einspeisung der Daten gewährleistet werden. Dieses System ist somit abhängig von den Intervallen wie oft diese Datensätze abgeholt werden, der Datenfluss findet somit geblockt statt.

Bezogen auf das Gesamtprojekt eines Digitalen Zwillinges ist eine kontinuierliche Datenanbindung für die Modellierung von solchen Systemen essenziell. Diese Anforderung kann zwar der derzeitige Parser nicht erfüllen, jedoch ermöglicht er die ersten Datenbankoperationen für die kommenden zeitnahen Projekte. Dieses Programm ist ein Schritt in die richtige Richtung und dient als eine gute Zwischenlösung, bis eine automatische Dateneinspeisung an dieser Linie implementiert wird. Welche Lösung in Betracht gezogen wird, ist abhängig von den Datenanforderungen an einen Digitalen Zwilling, welche noch erarbeitet werden. Diese Entscheidung wird stark von der Echtzeitfähigkeit von solch einem möglichen

System abhängen. Im Kapitel 6 „Konzepte zur Datenerfassung aus industriellen Produktionslinien“ werden solche möglichen Lösungen als Konzepte vorgeschlagen.

Als Programmiersprache wurde Python verwendet, da diese Sprache sehr übersichtlich, flexible bezogen auf das Importieren diverser Bibliotheken und einfach zu lesen ist.

Da der derzeitige Ausgangspunkt eine Ansammlung von CSV Dateien ist, werden im ersten Schritt die CSV Dateien auf ihre Richtigkeit und Vollständigkeit überprüft. Im Idealfall werden bereits alle Prozessdaten abgespeichert. In diesem Fall wird nur ein Großteil der relevanten Prozessdaten abgedeckt, deswegen wurde darauf geachtet, dass dieses Programm modular erweiterbar ist, falls weitere Einträge erwünscht sind.

## 5.2 Beschreibung der Module

Das geschriebene Programm setzt sich aus folgenden Modulen zusammen (nach Programmablauf sortiert):

- a) filepicker
- b) csv\_reader
- c) mapping
- d) sql\_inserter
- e) main

### a) filepicker

Für den filepicker wurde die Bibliothek „Lib/os.py“ herangezogen. Diese ermöglicht eine Verwendung von betriebssystemabhängigen Funktionen. Der definierten Funktion wird lediglich der Parameter „path“ übergeben. Diese ist dafür zuständig eine Liste zu erstellen indem alle Dateien, die sich in einem gewünschten Pfad befinden aufzulisten. Da zu jedem Datum mehrere CSV Dateien existieren werden in einem Tuple zwei Informationen gespeichert. Als erstes die Nummer der Datei und anschließend das Erstellungsdatum. Anschließend wird nach der Nummer und dem Erstellungsdatum sortiert und dieses Ergebnis als Liste im Arbeitsspeicher abgelegt.

Mit diesem Modul erhält man schlussendlich eine vollständige Liste aller sich im Ordner befindenden Dateien, welche in der richtigen Reihenfolge vorliegen. Der Programmablauf wird in Abbildung 20 grafisch dargestellt.

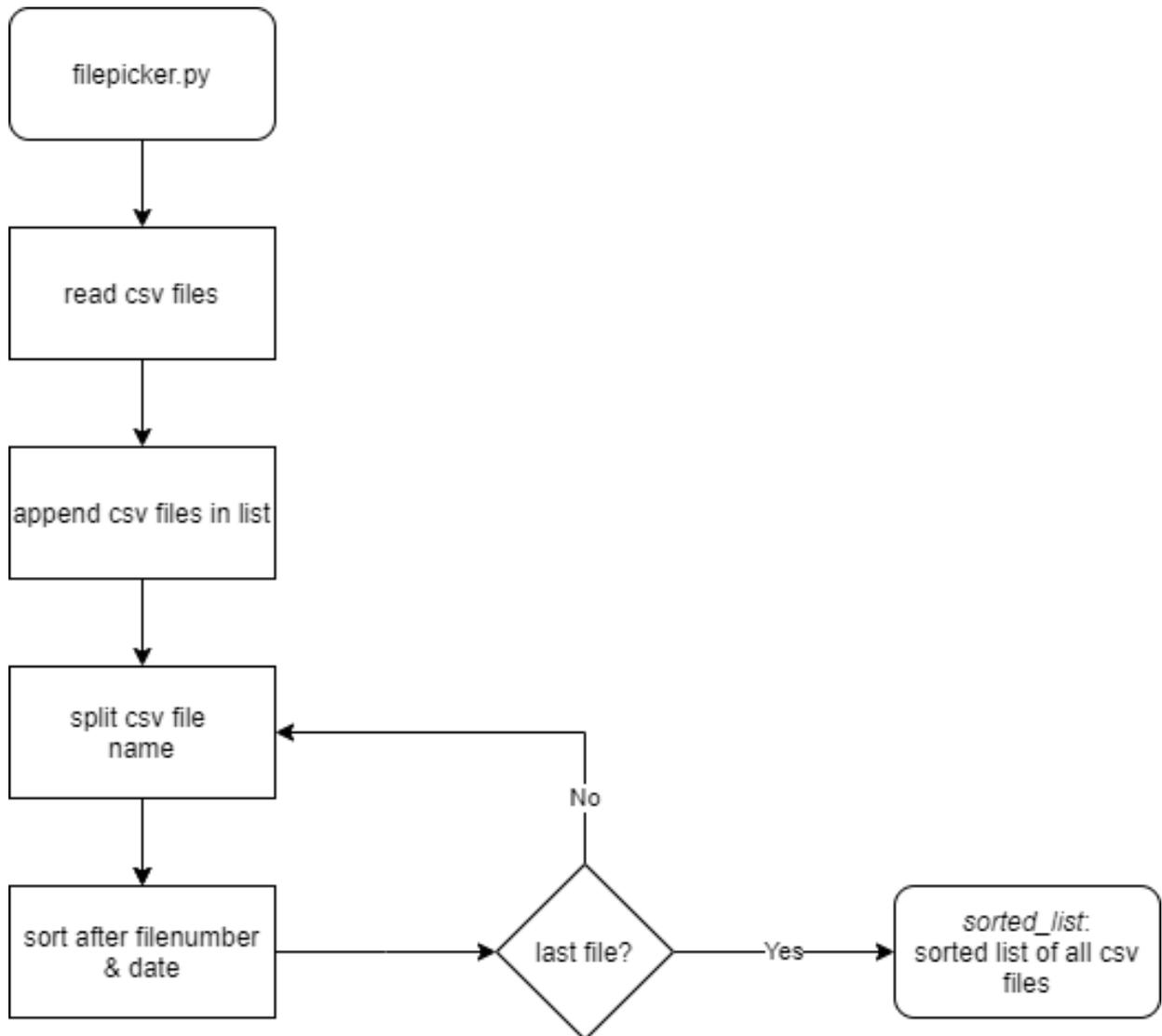


Abbildung 20: Programmablaufplan vom filepicker Modul

### b) csv reader

Der `csv_reader` wird mit Hilfe der „Lib/csv.py“ Bibliothek realisiert. Dieses Modul ist dafür zuständig die einzelnen CSV-Dateien einzulesen, indem alle Einträge einer Datei temporär als Liste in den Random-Access-Memory (RAM) abgelegt werden. In einer Funktion verpackt namens „reader“, werden die Parameter „files“ und path übergeben. Mittels einer Nestet Loop wird eine 2x2 Matrix aufgespannt, welche auch als Tabelle interpretiert werden kann. Beim Durchiterieren der Schleifen wird jeder Eintrag von diversen Whitespaces, Newlines, Newbits, etc. mittels der `strip()` Funktion bereinigt. Parallel dazu werden die Dezimaltrennzeichen in den Python Standard übersetzt. Dies wird mit einer `replace()` Funktion realisiert. Erst jetzt ist es möglich mit Hilfe eines `try & except` den gewünschten Datentyp zu definieren. Durch diesen Ansatz ist es möglich die Spaltenüberschriften (Header) als string beizubehalten und nur die Prozessdateneinträge in den float Typ zu transformieren.

Bevor die manipulierten Einträge in eine Liste angehängt werden, wird ein „mapping“ der Header durchgeführt. Eine genauere Beschreibung dieses Schrittes ist in der Modulbeschreibung c) mapping zu finden.

Nach der Ausführung dieses Moduls erhält man eine vollständig eingelesene CSV Datei, welche temporär im Arbeitsspeicher vorliegt. Mittels Flussdiagramm sind die einzelnen Schritte in Abbildung 21 grafisch dargestellt.

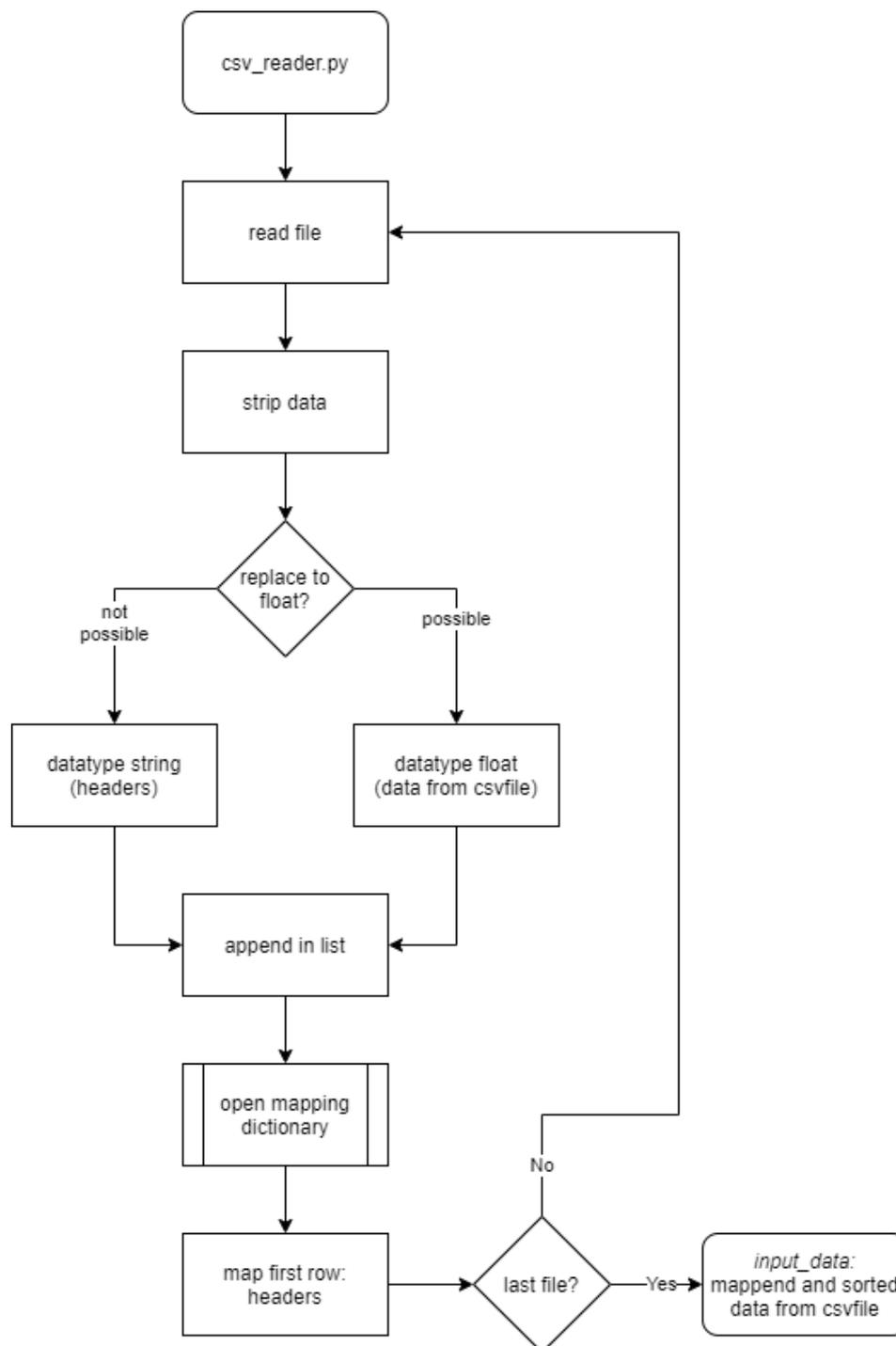


Abbildung 21: Programmablaufplan vom csv\_reader und mapping Modul

**c) mapping**

Für das Einspielen der Daten in die Datenbank ist dieser Schritt nicht essenziell. Er wird trotzdem durchgeführt, da die ursprünglichen Spaltenbezeichnungen für weitere Operationen in einem Datenbankmanagement-Programm wie SQL zu komplex sind. Die einzelnen Header weisen einige Sonderzeichen auf, enthalten eine Einheitenbeschreibung und sind dadurch oft viel zu lang.

Aus diesem Grund findet man in diesem Modul eine Dictionary welche angepasste und in die englische Sprache übersetzte Header aufweist. Es ist zu beachten, falls diese Bezeichnungen geändert werden sollten, müssen diese Änderungen auch in der SQL-Datenbank vorgenommen werden.

**d) sql inserter**

Für den `sql_inserter` ist ein weiteres Modul namens „pyodbc“ herangezogen worden. Dieses ist dafür verantwortlich die standardisierte ODBC (Open Database Connectivity) Datenbankschnittstelle für SQL einfacher zu gestalten. Im `sql_inserter` wird lediglich eine Funktion definiert, welcher der Parameter „data“ übergeben wird. Sie ist dafür zuständig eine Verbindung zur gewünschten Datenbank herzustellen und weiters in die gewünschte Tabelle die vorher eingelesenen CSV Dateien einzuspielen. Um diesen Schritt zu ermöglichen, benötigt das `pyodbc` Modul die Spaltennamen und die Anzahl an Parametern, also die Anzahl der einzulesenden Spalten als Information. Hierfür wird ein „insert\_string“ abhängig von der Spaltenanzahl generiert, welcher den Befehl „INSERT INTO TABLE“ und die gewünschten Informationen enthält.

Da eine gepflegte Datenbank eine wichtige Voraussetzung ist und somit Inkonsistenzen bzw. doppelte Einträge vermieden werden sollen, wird der Zeitstempel „timestamp“ in SQL bei der Erstellung der gewünschten Prozessdatentabelle als „unique“ gesetzt. Da es möglich ist, dass CSV Dateien doppelte Einträge zum selben Zeitstempel enthalten, wird diesem Problem damit entgegengewirkt. Durch ein try & except wird ein Error vermieden, welcher auftreten würde, falls dieser beschriebene Fall auftreten sollte. Der Error wird abgefangen, der doppelte Eintrag ignoriert und die nächste Zeile fortgeführt. Der sequenzielle Ablauf dieses Moduls wird grafisch in Abbildung 22 dargestellt.

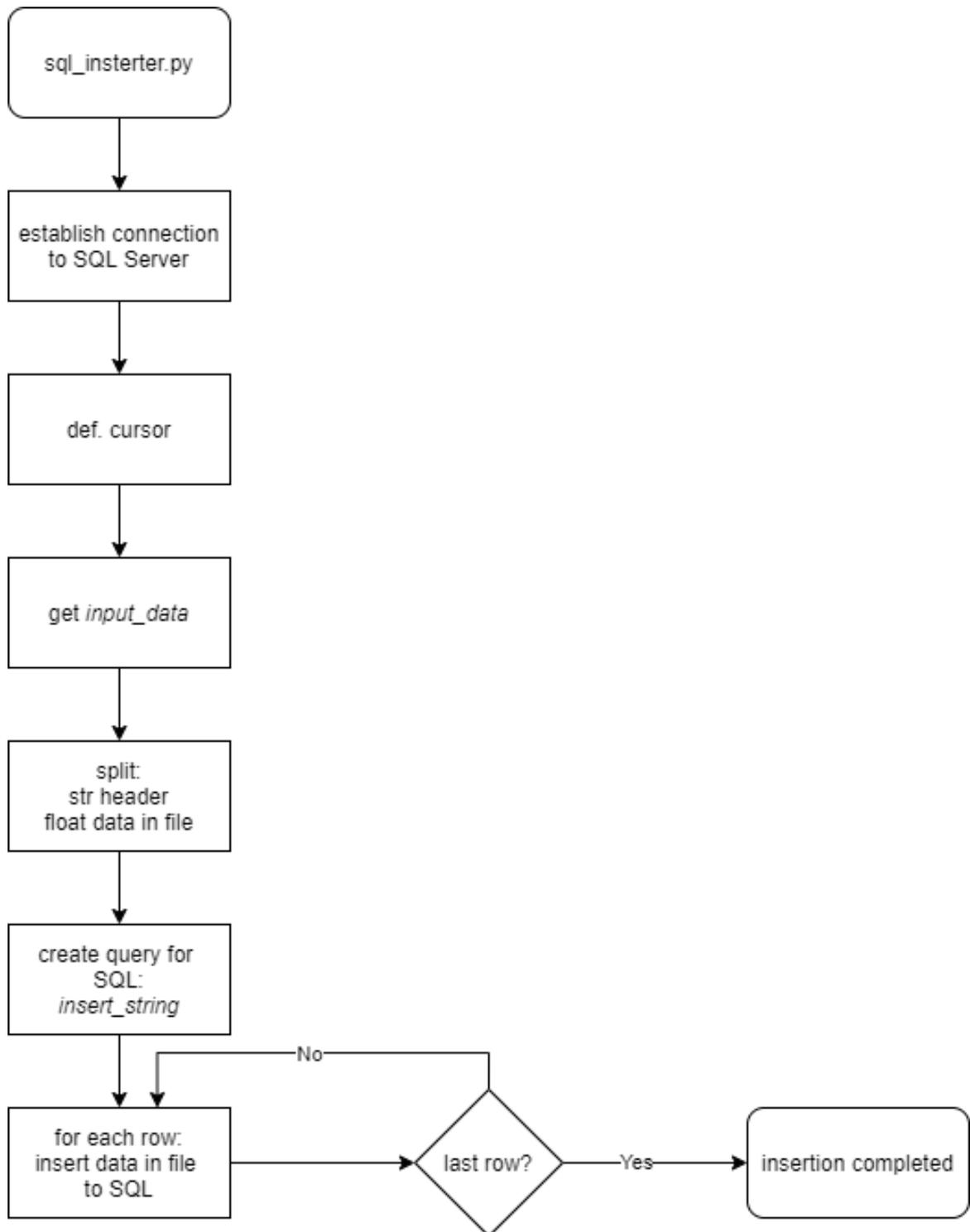


Abbildung 22: Programmablaufplan vom `sql_inserter` Modul

**e) main**

Im Hauptprogramm „main.py“ werden alle oben beschriebenen Module zusammengeführt. Hierfür müssen alle vorher erstellten Teilprogramme in dieses importiert werden. Der gesamte Programmablauf des Hauptprogramms ist in Abbildung 23 grafisch dargestellt. Im ersten Schritt werden alle CSV Dateien mithilfe vom filepicker eingelesen und sortiert. Als Ergebnis wird eine Liste mit allen eingelesenen CSV Dateien sortiert zurückgegeben. Diese Liste wird in das csv\_reader Modul weitergereicht, um anschließend den Inhalt jeder CSV Datei zu extrahieren und als Matrix in den Zwischenspeicher abzulegen. Bevor diese Tabelle weitergereicht wird, müssen die Inhalte bereinigt und übersetzt werden. Das Ergebnis dieser Funktion ist eine Liste mit vollständigen Datensätzen, welche eine neue Spaltenbezeichnung zugeordnet bekommen haben. Diese Matrix, welche auch als Array interpretiert werden kann, wird dann anschließend dem sql\_inserter Modul übergeben. Das letzte Modul baut eine Verbindung mit einem gewählten SQL-Server auf und ermöglicht mit vorgeschriebenen SQL-Queries das Beschreiben einer vordefinierten Datenbank. Zu diesem Zweck wird sequenziell jede Datei mit ihrem gesamten Inhalt durchiteriert und auf doppelte Einträge geprüft. Beim erfolgreichen Einfügen aller Daten in die Datenbank wird zum Abschluss eine positiver Rückmeldung stattfinden, ansonsten werden die gescheiterten Einträge in Form einer Liste in der Konsole angezeigt.

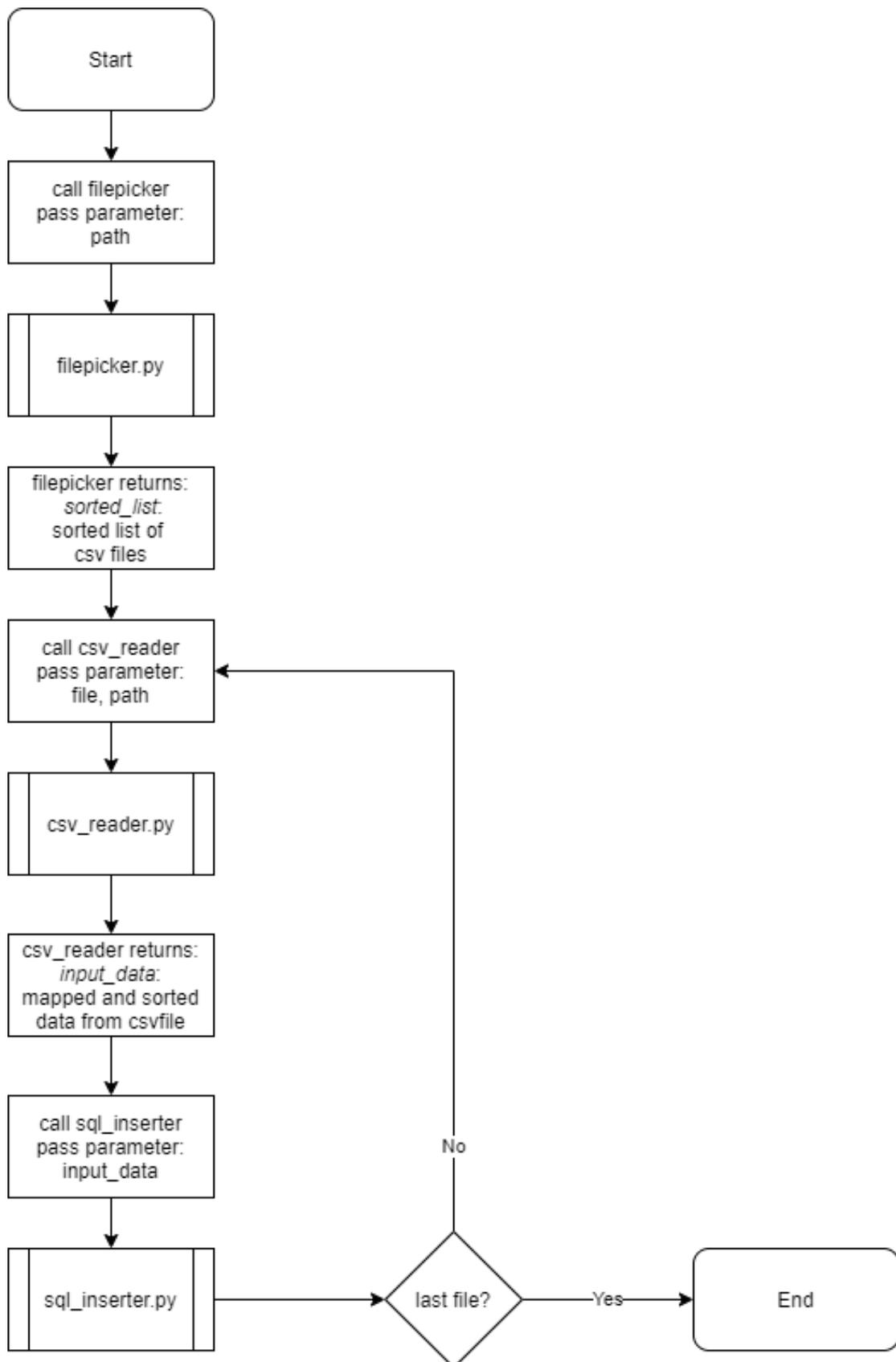


Abbildung 23: Programmablaufplan vom Hauptprogramm „main“

## 6 Konzepte zur Datenerfassung aus industriellen Produktionslinien

Im Kapitel 6 werden verschiedene Möglichkeiten der Datenerfassung und -sicherung von Prozessdaten aus industriellen Produktionsanlagen in Form von Konzepten vorgestellt. Die Motivation dahinter ist, für kommende Projekte, diverse Varianten der Datenversorgung von Digitalen Abbildern zu präsentieren, welche Bezug auf die Echtzeitfähigkeit nehmen. Die Bereitstellung von Prozessdaten in Echtzeit ist Voraussetzung für die Erstellung und Anwendung eines Digitalen Zwillings (siehe Kapitel 2.3). Die ausgearbeiteten Varianten sollen für die darauffolgenden Projekte eine Entscheidungsgrundlage bilden und eine Unterstützung bei der Auswahl der benötigten Lösung verschaffen. Dies setzt nicht voraus, dass die vorgestellten Ergebnisse die einzigen Möglichkeiten für eine Datenbereitstellung in Echtzeit sind. Solch eine Realisierung ist besonders systemspezifisch und kann sich von einem System zum anderen sehr stark unterscheiden. Des Weiteren sind zum Verfassungszeitpunkt der Diplomarbeit die exakten Datenanforderungen der einzelnen Prozessparameter für das digitale Abbild und somit in weiterer Folge, für die Erstellung eines Digitalen Zwillings nicht zur Gänze geklärt worden. Unter den Datenanforderungen sind die Bereitstellungsintervalle der jeweiligen Prozessparameter für das virtuelle Modell gemeint.

Ohne die genauen Datenanforderungen werden keine genauen systemspezifischen Lösungen vorgestellt, jedoch können für die betrachteten Produktionslinien, die ersten allgemeinen Ideen präsentiert werden.

Einige Gründe für die Ungewissheit der genauen Datenanforderungen der einzelnen Prozessparameter sind:

- a) **Unvollständigkeit der elektronischen Aufzeichnung aller Prozessparameter**  
Ohne eine vollständige elektronische Aufzeichnung aller Parameter ist ein vollständiges virtuelles Abbild nicht möglich.
- b) **Abweichungen in elektronischer Erfassung der vordefinierten KPP's**  
Da die von der Firma Semperit erstellten KPP's als Schlüsselparameter des Extrusionsprozesses bezeichnet werden, wird empfohlen die fehlenden Parameter elektronisch vervollständigt werden.
- c) **Ungeklärte maximale Abstraten der derzeit verbauten Sensorik**  
Hier stellt sich die Frage, ob die aktuell verbauten Sensoren überhaupt die notwendigen Abstraten besitzen, um den Datenfluss für das gewünschte Echtzeitsystem bereitstellen zu können.

**d) Unbekannte Latenzzeiten des gesamten elektronischen Systems (Datenfluss vom Sensor bis hin zur Datenbank)**

Für die Entscheidung einer passenden Lösung ist die Gesamtlatenz des derzeitigen Datenflusses aus der Feldebene bis hin zur Datenbank festzustellen. Erst nach der Bekanntgabe der Verzögerungen kann entschieden werden, aus welcher Ebene die benötigten Daten für einen Digitalen Zwilling bereitgestellt werden müssen.

**e) Fehlende elektronische Verknüpfung der Prozessdaten mit den Mischungsdaten des zu verarbeitenden Werkstoffes**

Ohne diese Verknüpfung können keine Aussagen zu den jeweiligen Datenanforderungen, bezogen auf die numerischen strömungsmechanischen Modellierungen der Kautschukmischung, getroffen werden. Erst während den ersten Simulationsversuchen können die genauen Datenanforderungen zum Vorschein kommen.

**f) Benötigte Datenintervalle der zu bereitstellenden Prozessdaten für den Digitalen Zwilling**

In diesem Unterpunkt muss festgestellt werden, in welchen Intervallen die einzelnen Werte, für eine kontinuierliche Simulation, benötigt werden. Drücke werden im Vergleich zu Temperaturen schneller variieren, da sie sich in den derzeitigen Aufzeichnungen weniger träge verhalten.

**g) Maximale Netz-Last des derzeitigen Systems**

Hier stellt sich die Frage, ob das derzeitige Kommunikationssystem der Anlage einer erhöhten Abtastrate der Sensorik und somit einem Anstieg des Datenflusses ohne erweiterte Verbindungen standhalten kann. Eine ungestörte stabile Produktion mit den derzeitigen Gegebenheiten ist somit die Voraussetzung.

## 6.1 Varianten von Speichermöglichkeiten

Die diversen Konzepte zur Datenerfassung aus industriellen Produktionslinien werden größtenteils anhand der Extrusionslinie 2 – Profilextrusion mit Co-Extruder vorgestellt. Der Grund für diese Entscheidung ist, dass die zweite Linie zum derzeitigen Zeitpunkt keine kontinuierliche Datenbankanbindung aufweist. Es werden wie bereits erwähnt, blockweise CSV-Dateien lokal am Produktionsrechner hinterlegt. Um die aktuelle Situation bestmöglich auszunutzen, wird versucht eine Datenanbindung mit Fokus auf Echtzeit zu erarbeiten.

Im Vergleich dazu besitzt die Extrusionslinie 1 – Schlauchprofilextrusion bereits eine Datenbankanbindung, wobei diese Werte über das WinCC in eine firmeninterne Datenbank eingespielt werden.

In Abbildung 24 ist der derzeitige Datenfluss der Anlage als vereinfachte Grafik in der linken Spalte dargestellt. Des Weiteren werden in dieser Abbildung zwei Möglichkeiten präsentiert, wie ein echtzeitfähiges System realisiert werden könnte. In der mittleren Spalte ist der erste Lösungsvorschlag aufgezeigt, indem ein Softwareupgrade ergänzt werden soll. Dieses Upgrade würde auch den in dieser Diplomarbeit erstellten CSV-to-SQL-Parser ersetzen. Zu beachten ist, dass mit der Möglichkeit 1 die Daten für einen Digitalen Zwilling aus der Datenbank der Produktionsanlage zur Verfügung gestellt werden. Dies kann nur funktionieren, wenn die Latenz der gesamten Kommunikation der Anlage den Datenanforderungen des Digitalen Zwillings entspricht. Ein großer Vorteil des ersten Lösungsvorschlages wäre, dass die aktuellen Anlagenkomponenten bestehen bleiben und nur ein Softwareupgrade benötigt wird. Dadurch könnten die Kosten und der Aufwand gering gehalten werden.

Die zweite Möglichkeit deutet auf einen parallelen Abgriff der Sensordaten hin. Dieser Vorgang wird notwendig sein, wenn die Gesamtlatenz den Datenanforderungen des Digitalen Zwillings nicht mehr entsprechen sollte. Hierfür wird ein paralleles echtzeitfähiges Rechenzentrum aufgebaut, um dieses direkt mit den benötigten Sensordaten zu versorgen und somit den Datenfluss so direkt wie möglich zu gestalten. Hierbei ist zu beachten, unter welchen Bedingungen die Sensorik abgegriffen werden soll. Es wäre unter Umständen nicht notwendig jegliche Sensorik in diesen parallelen Abgriff miteinzubeziehen, nur diejenige, die eine schnellere Datenbereitstellung für die Modellierung und Verarbeitung benötigt. Weiters ist eine doppelte Verkabelung der Sensorik oft aufwändig, teuer und kann schnell unübersichtlich werden. Speziell für analoge Signale sind besondere Maßnahmen zu treffen. Ein Temperaturwert, der sich z.B. nur alle zwei Sekunden ändern würde, müsste somit nicht mitimplementiert werden. Diesen Parameter könnte man stattdessen wie gewohnt aus der Datenbank oder der SPS an das

virtuelle Abbild weiterleiten. Hierfür müsste zuzüglich eine kontinuierliche Datenbankanbindung bewerkstelligt werden.

Erweist sich die Lösung vom doppelten Sensorabgriff als zu komplex und unpassend für dieses Problem, kann die zweite Möglichkeit der Datenbereitstellung durch einen Datenlogger ergänzt werden. Im Unterschied zum doppelten Abgriff der einzelnen Sensoren würde in diesem Fall ein Datenlogger auf einem parallelen echtzeitfähigen Rechenzentrum mit einem Real-Time-Operating-System (RTOS) die Informationen direkt aus dem Speicher der SPS beziehen. Der Vorteil dieser Möglichkeit ist, dass alle Rohdaten in der SPS abgelegt werden und somit zentral bereitgestellt werden können. Da jeder einzelne Sensor mit der Speicherprogrammierbaren Steuerung kommuniziert, wäre die gesamte Sensorik damit abgedeckt. Werden im Laufe dieses Projektes zusätzliche Überwachungen von weiteren Prozessparametern benötigt, müssten die neuen Sensoren nicht zusätzlich verkabelt werden, sondern nur einen Anschluss an die SPS erhalten. Mit dieser Abänderung der zweiten Möglichkeit würde auch der zuzügliche Erwerb einer kontinuierlichen Datenbankanbindung entfallen. Falls solch eine Anbindung trotzdem gewünscht ist, könnte diese jederzeit nachträglich implementiert werden.

Für dieses aktuelle Problem werden in den folgenden Unterkapiteln verschiedene Möglichkeiten der Datenerfassung und -sicherung vorgestellt.

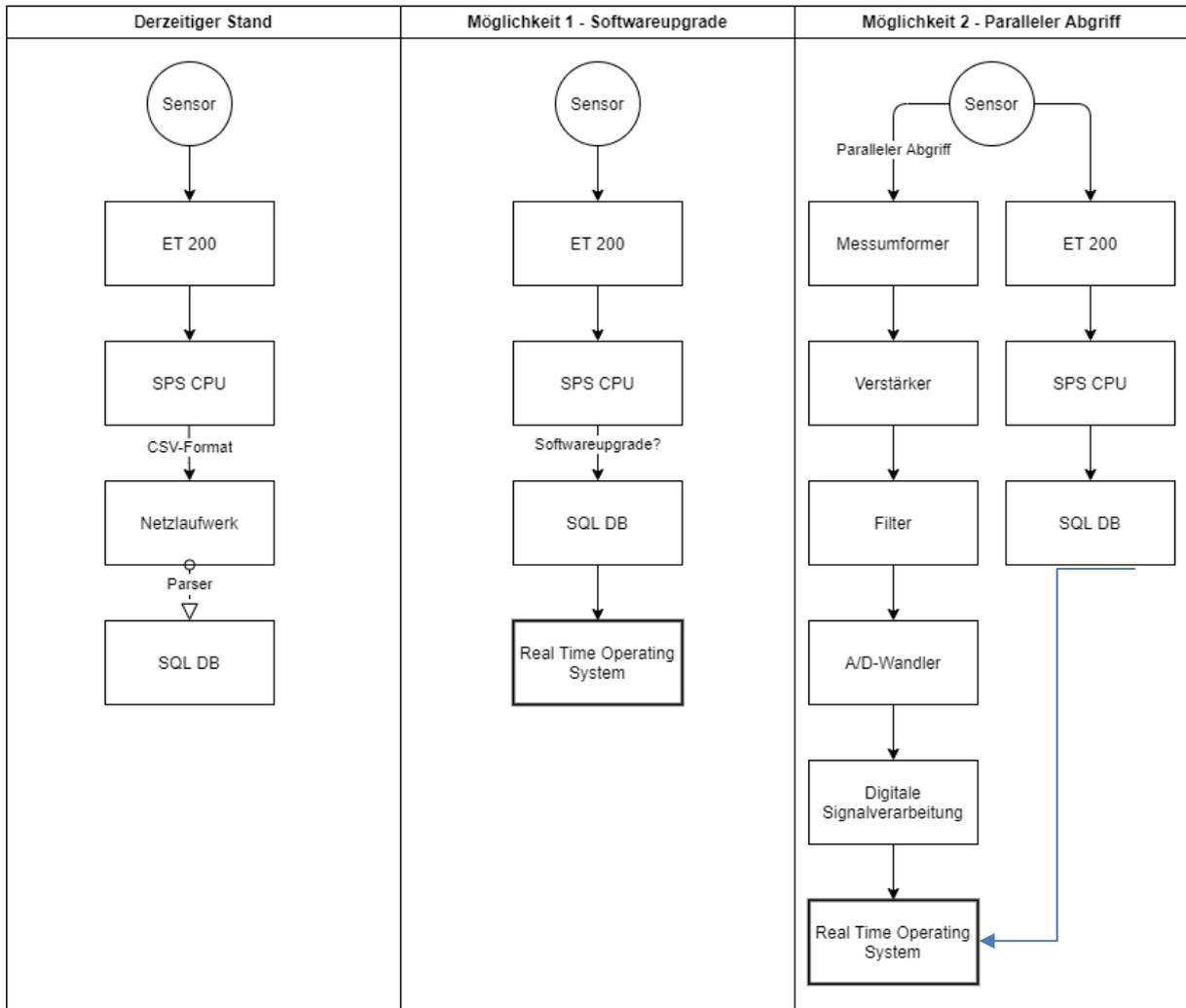


Abbildung 24: Derzeitiger Datenfluss der Extrusionslinie 2 – Profilextrusion mit Co-Extruder (links) mit zwei Lösungsvorschlägen für ein echtzeitfähiges System

### 6.1.1 Datenlogger & Kommunikationsbibliotheken

Datenlogger werden als Softwareprogramme oder eigenständige Module realisiert und ermöglichen Daten aus Geräten wie z.B. einer SPS (z.B. SIMATIC-S7) nicht nur zu erfassen, sondern auch auf einem Computer aufzuzeichnen und nach Bedarf in eine Datenbank weiterzuleiten. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf Datenloggern, welche als Softwarepaket angeboten werden.

Dem Anwender werden mehrere Möglichkeiten angeboten, in welcher Art die zu beobachtenden Daten aufgezeichnet werden sollen. Eine sehr häufige und einfache Methode der Sicherung wird in Form von CSV-Dateien durchgeführt. Viele Anbieter von Softwarepaketen zum Datenlogging bieten mit ihrem Produktangebot, aber auch eine Weiterleitung in Datenbanksysteme an. Solch ein Programm greift auf den Speicher der SPS zu und entnimmt die notwendigen Informationen aus deren Datenbausteinen, in welchen die Rohdaten hinterlegt werden.

Bezogen auf ein Aufzeichnungssystem, welches in einer Echtzeitumgebung aufgesetzt werden soll, muss die Gesamtlatenz des Systems beachtet werden. Die von der Sensorik erfassten Informationen müssen oft genormt, verstärkt und anschließend in die SPS weitergeleitet werden. Diese kommuniziert wiederum mit der SCADA-Ebene in welcher diese Informationen anschließend visualisiert und in eine Datenbank weitergeleitet werden. Durch diese vielen Schnittstellen, Kommunikationsprotokolle und Signalumwandlungen können höhere Latenzzeiten im Gesamtsystem entstehen. Ist die zeitliche Verzögerung vom Signalursprung bis zur Signalsicherung zu hoch, kann solch ein System für eine echtzeitfähige Regelung problematisch werden. Diese Lösung kann somit nur in Betracht gezogen werden, falls die Datenanforderungen des zu erstellenden Digitalen Zwillings diesen Bedingungen gerecht werden können. Da diese untersuchte Extrusionslinie bis zum jetzigen Zeitpunkt keine kontinuierliche Datenbankbindung aufweist und der Datenfluss nur geblockt mittels dem, im Kapitel 5 vorgestellten, Parsers ermöglicht wird, ist solch eine Implementierung trotz eventueller Echtzeit-Problematik zu empfehlen.

Unter den derzeitigen Bedingungen wurde für eine kontinuierliche Datenbankbindung, nach telefonischer Absprache mit dem Anlagenhersteller, auf ein Upgrade der bereits aufgesetzten Software verwiesen (Siemenssoftware). Falls diese Software den Erwartungen nicht entsprechen sollte, werden weitere Möglichkeiten des Datenloggings vorgestellt.

Viele Unternehmen haben sich bereits für das Datenlogging im industriellen Sektor spezialisiert und bieten entsprechende Lösungen für diesen Anwendungsfall an. Dementsprechend gibt es für nahezu jedes Szenario die passende Lösung. Nach Absprache mit den derzeitigen Anlagenherstellern der Firma Semperit und der Technischen Universität Wien wird der Fokus auf zwei Unternehmen gelegt, die solch ein Produkt vertreten.

In dieser Arbeit werden folgende Datenlogger vorgestellt:

- *ACCON - EasyLog* der Firma DELTA LOGIC Automatisierungstechnik GmbH
- *SQL4Automation* der Firma Inasoft Systems GmbH

### **ACCON - EasyLog:**

Der Datenlogger der Firma DELTA LOGIC „ACCON-EasyLog“ erweist sich laut der Beschreibungen auf deren Homepage als sehr vielseitig. Die wichtigsten Eigenschaften, die dieses Produkt ausmachen sind (vgl.[29]):

- Benutzerfreundliche Bedienung
- Modularer Aufbau
- Gerätekompatibilität von Siemensprodukten (MPI, PROFIBUS und TCP/IP)
- Unterschiedliche Ausgabemöglichkeiten
- Unterstützung von SQL-Datenbanken
- Absicherung gegen Datenverlust durch Pufferung

Es wird eine kostengünstige Lösung für eine kontinuierliche Datenüberwachung und Sicherung mit dieser Software angeboten. Die Sicherung kann schnell und einfach über CSV-Format realisiert werden, bzw. direkt in eine Datenbank weitergeleitet werden. Die Daten werden aus der SPS ausgelesen, archiviert und zusätzlich bietet die Software eine grafische Darstellung der erfassten Daten an. ACCON-EasyLog kann des Weiteren auch als Dienst installiert werden, um eine Unabhängigkeit von einzelnen Benutzer zu ermöglichen. Eingeschränkt ist man bei diesem Produkt durch das Betriebssystem, da laut Homepage nur Windows Betriebssysteme mit diesem Produkt kompatibel sind. Zum jetzigen Zeitpunkt würde dies kein Problem darstellen, da der Liniencomputer ebenfalls mit einem Windows Betriebssystem ausgestattet ist. Falls ein paralleles RTOS in weiterer Folge benötigt wird, ist darauf zu achten, dass solch ein echtzeitfähiges System oft auf einem Linux Betriebssystem konfiguriert wird.

### **SQL4Automation**

Eine weitere Lösung, um die Industrie-Steuerung mit einer Datenbank zu verbinden wird von SQL4Automation angeboten. Die Software beinhaltet einen „Connector“, welcher direkte SQL-Anfragen aus der SPS an die Datenbank ermöglicht. In diesem Fall wird die Datenbankverbindung nur parametrisiert und die gesamte Programmierung findet in der SPS statt. Der Connector ist somit das Hauptprodukt und dient als Schnittstelle zwischen der Industrie-Steuerung und den Datenbanken. Weiters wird der Connector als Dienst ausgeführt und auf Windows oder Linux angeboten. Diese Software würde sich somit für das Parallelrechenzentrum durch ihre Linux Kompatibilität besser eignen.

Das Softwareangebot beinhaltet folgende Tools:

- Konfigurationstool des Connectors
- Debugger
- Query-Tool (Query entspricht einer SQL-Abfrage)

Mittels Konfigurationstool ist das genaue Parametrieren des Connectors möglich und der Debugger zeichnet alle Anfragen auf, die über den Connector stattfinden. Dies ermöglicht exakte Analysen der Anfragen an die Datenbank. Über das Query-Tool können manuell SQL-Abfragen direkt in der Software über den Connector vorgetestet werden. Die Datenbanken werden über die standardisierte Datenbankschnittstelle „Open Database Connectivity“ (ODBC) angesprochen, dementsprechend können alle gängigen SQL-Datenbanken verwendet werden. Die Verbindung wird mittels TCP/IP realisiert und es sind hierfür bereits fertige Bibliotheken integriert (vgl.[30]).

## Kommunikationsbibliotheken

Mit Kommunikationsbibliotheken sind Ansammlungen von Bibliotheken für verschiedene höhere Programmiersprachen (Java, C++, C#, Python, etc.) gemeint. Durch die Vielfalt der bereits existierenden Computersprachen müssen die Programme dieselbe Sprache sprechen sowie Protokolle der jeweiligen SPS verwenden. Aus diesem Grund kommen für erweiterte Anwendungen die Kommunikationsbibliotheken zum Einsatz. Diese stellen die notwendigen Funktionen bereit, die einem Computer die Möglichkeit geben Daten aus einer SPS auszulesen und diese zu beschreiben. Notwendig ist dies, bei Anlagen mit erhöhtem Rechenaufwand und großen Datenansammlungen, bei welchen die konventionellen Speicherprogrammierbaren Steuerungen überlastet wären. Vielmehr wird auf diese Kommunikationsschnittstelle zurückgegriffen, falls spezifische Anwendungen bzw. Programme gefordert werden, welche in dieser Form noch nicht angeboten werden.

Im Gegensatz zu einem Datenlogger, der schon als ein vollständiges Programm mit vordefinierten Funktionen und Graphical-User-Interface (GUI) bereitgestellt wird, müssen bei den Kommunikationsbibliotheken oft noch eigenständige Programme eingebunden werden. Derartig eigenständig erstellte Programme können mithilfe von diesen Bibliotheken einfach auf die unterschiedlichen Steuerungseinheiten zugreifen. Der Vorteil ist, dass anwendungsspezifische Aufgaben erfüllt werden können, ohne große Softwarepakete erwerben zu müssen (vgl.[31], [32]).

Dabei ist zu beachten, dass solch eine eigenständig konzipierte Lösung oft keinen Service für Updates und Wartungen beinhaltet. Wird dies trotzdem umgesetzt müssen Aktualisierungen und Wartungen eigenständig durchgeführt werden. Besonders kritisch wird dies bei Anwendungen, welche einen reibungsfreien Produktionsablauf voraussetzen. Als Beispiel könnten durch Updates der verschiedenen Anlagenkomponenten Software-Versionsunterschiede zu Kompatibilitätsproblemen und somit zu Störungen der Produktion führen.

In dieser Arbeit wurden folgenden Kommunikationsbibliotheken berücksichtigt:

- *MTConnect* von *MTConnect Institute* (Open-Source)
- *ACCON-AGLink* von DELTA LOGIC Automatisierungstechnik GmbH
- Snap7 von Davide Nardella (Open-Source)
- LIBNODAVE (Open-Source)

## **MTConnect**

Das standardisierte offene Protokoll von MTConnect dient als einheitliche Sprache und als Kommunikationswerkzeug für verschiedenste Werkzeugmaschinen. Dieses Protokoll ist im amerikanischen Markt besonders stark vertreten. Das durch die Association for Manufacturing entwickelte Protokoll arbeitet unidirektional und bietet durch seine vielseitige Erweiterbarkeit hohe Flexibilität. Basierend auf der Extensible Markup Language (XML) können im Read-Only-Modus Maschinendaten aus der Shopfloor-Ebene erfasst werden. Dieses Monitoring kann in weiterer Folge für Datensicherungen, Leistungsanalysen, Visualisierungen, vorausschauende Wartung und weitere Funktionen herangezogen werden. Das europäische Pendant hierfür ist der Standard von OPC - UA (Open Platform Communication - Unified Architecture). Um die Kompatibilität auch auf dem europäischen Markt zu fördern, werden bereits Geräte mit entsprechenden Gateway-Funktionen für beide Protokolle entwickelt. MTConnect besteht aus einem Agent, Adapter und Client. Der Agent erhält die vom Adapter erfassten und normierten Daten und konvertiert diese in das XML-Format. Dadurch können Daten zwischengelagert und auf Abruf für weitere Anwendungen zur Verfügung gestellt werden. Dies ermöglicht der Client, indem er die erhaltenen Informationen in einer Datenbank speichert und diese für die gewünschten Funktionen, wie Datenanalysen und Datenvisualisierungen, zur Verfügung stellt. Obwohl sich dieses Kommunikationsprotokoll sehr gut für Datenüberwachung und -sicherung eignet, ist die Frage der Kompatibilität mit einer nach europäischem Standard ausgelegten Anlage zu klären (vgl.[33]).

## **DELTA LOGIC**

Das Unternehmen „DELTA LOGIC Automatisierungstechnik GmbH“ bietet mit dem Softwarepaket ACCON-AGLink eine kostenpflichtige Lösung für die Kommunikation der industriellen Steuerung mit Computern an. Dieses Angebot ist auf einigen Betriebssystemen realisierbar und zeichnet sich durch ihre vielfältige Kompatibilität der verschiedensten Steuerungseinheiten aus. Mit diesem Angebot können genau zugeschnittene Anwendungen für das jeweilige Problem umgesetzt und implementiert werden. In Abbildung 25 wird die Kompatibilität der verschiedenen TIA Portal Versionen und Steuereinheiten dargestellt. Für eine erleichterte Bedienung aller zur Verfügung gestellten Funktionen wird vom Unternehmen zusätzlich ein Application-Programming-Interface (API) angeboten, welches es ermöglicht jede einzelne Funktion bereits vorab zu testen und deren Quellcode für weitere Programmierung einzusehen (vgl.[31]).

## Zugriffsmöglichkeiten auf Steuerungsdaten per ACCON-AGLink:

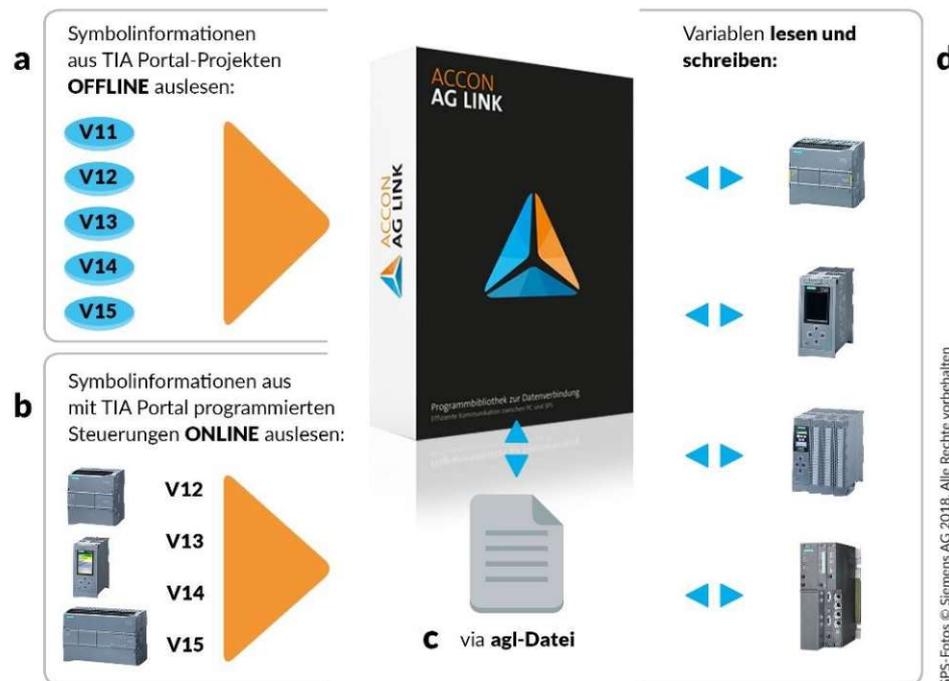


Abbildung 25: Eigenschaften von ACCON-AG Link anhand von Siemensprodukten [31]

### Open Source

Im Gegensatz zu den kostenpflichtigen Angeboten kann auch auf Open-Source Varianten zurückgegriffen werden. Diese bieten ähnliche Lösungen mit diversen Kommunikationsbibliotheken an. Als Beispiel können die Angebote von SNAP7 und LIBNODAVE angeführt werden, welche auch Verbindungen zur jeweiligen Steuerungseinheit bewerkstelligen. Da diese Lösungen als Open-Source Varianten angeboten werden, beinhalten diese keinen weiteren Service und jegliche Anwendung muss eigenständig eingebunden werden. Beide genannten Angebote spezialisieren sich auf den Verbindungsaufbau mit Steuerungen aus der Produktfamilie der Firma Siemens AG. Die Siemens Kommunikationsumgebung besteht aus einem Client, Server und Partnern (auch als Peer bezeichnet). Der Client kann Anfragen zum Server schicken, dieser kann jedoch nur antworten und Partner können eigenständig miteinander kommunizieren. Mit Partnern ist in dieser Umgebung eine zweite Steuerungseinheit oder zuzügliche Steuerungskomponenten gemeint. Kommuniziert wird über den in der SPS integrierten Communication-Processor (CP) (vgl. [32]). In Abbildung 26 ist eine beispielhafte Verbindung mittels SNAP7-Kommunikationsbibliothek dargestellt.

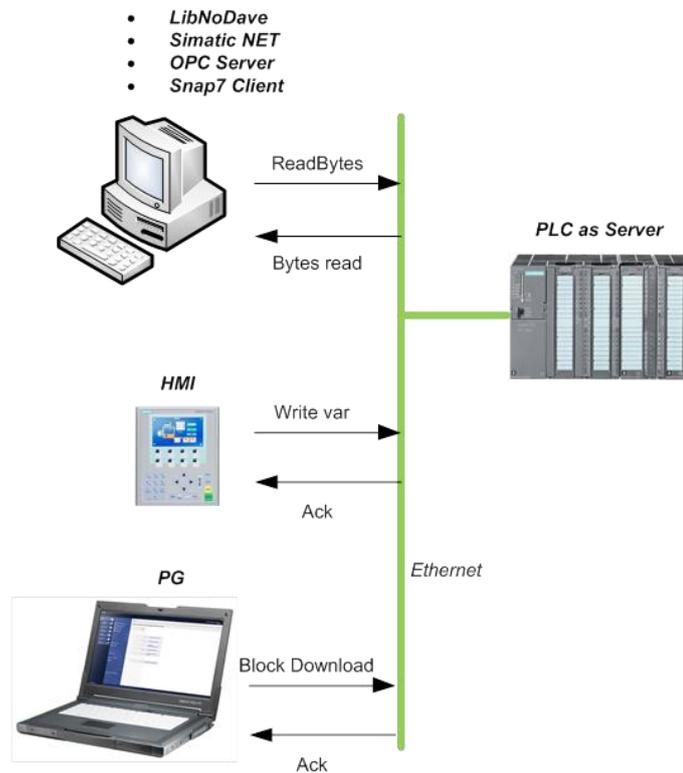


Abbildung 26: Beispielverbindung anhand von SNAP7. Clients links, Server rechts [32]

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass Kommunikationsbibliotheken dieselben Problemstellungen wie ein Datenlogger bewältigen können. Es ist dem Anwender überlassen, ob ein vorgefertigtes Gesamtpaket mit Konfigurationstool oder nur die notwendigen Bibliotheken für die Kommunikation die passende Lösung darstellt.

### 6.1.2 Real Time Operating Systems

Systeme, die in einer Echtzeitumgebung agieren sollen, werden durch verschiedene Punkte klassifiziert. Ein Hauptaugenmerk ist die Unterscheidung ob solch ein System unter harter oder weicher Echtzeit betrieben wird. Es wird also gesichtet ob die benötigten Outputs nicht nur korrekt ausgeliefert werden, sondern auch ob diese pünktlich ankommen. Eine Definition eines Computersystems, welches unter Echtzeit betrieben wird, lautet (vgl. [34]):

„A real-time computer system is a computer system where the correctness of the system behavior depends not only on the logical results of the computations, but also on the physical time when these results are produced. By system behavior we mean the sequence of outputs in time of a system.“ [34]

Es existieren zahlreiche Angebote die echtzeitfähige Lösungen als Software- und die dazugehörigen Hardwarepakete anbieten, z.B.:

- Real-Time Systems – National Instruments
- Real-Time-Ethernet Systems – Beckhoff
- CLINARIS GmbH – Hospital Process Management (HPM)
- freeRTOS

Wie bereits oben erwähnt ist das grundsätzliche Ziel eines solchen Systems, Daten richtig zu berechnen und zu festgelegten Zeiten zur Verfügung zu stellen. All diese Anbieter verfolgen somit dasselbe Ziel und unterscheiden sich in ihrem Angebot mit der verwendeten Soft- und Hardware.

Eine genauere Erläuterung der Funktionsweise eines RTOS mit den dazugehörigen Hardwarekomponenten wird anhand des Angebots des Unternehmens National Instruments (NI) durchgeführt.

Die Lösung von NI beinhaltet im Softwareangebot das dazugehörige RTOS, Entwicklungstools und essenzielle Treiber. Im Vergleich zu einem gewöhnlichen Betriebssystem wie Windows ist das Real-Time-Operating-System so konzipiert, dass Rechenleistungen für priorisierte Prozesse reserviert werden. Es ist somit für andere untergeordnete Prozesse nicht möglich gewisse Kapazitäten der Rechenleistungen zu beanspruchen. Dies wäre bei einem gewöhnlichen Betriebssystem durchführbar, da dieses für gleichzeitiges Ausführen vieler Prozesse und Anwendungen konzipiert wurde. Damit sind z.B. grafische Visualisierungen, Systemhintergrundaufgaben und Virenskans gemeint, welche die Nutzerflexibilität fördern. Durch das sorgfältige Priorisieren der einzelnen Tasks wird eine Verringerung der Verzögerungen und Ausfälle ermöglicht. Somit können Anwendungen innerhalb eines garantierten Worst-Case-Szenarios ausgeführt werden. Das RTOS ist somit für präzise Timing Anforderungen eines gesonderten Programmes ausgelegt. Weiters wird darauf geachtet die benötigte Anwendung ohne Unterbrechungen über einen längeren Zeitraum zuverlässig auszuführen. Die Zeitspanne dieser Prozessstabilität kann sich über Tage, Monate bis hin zu Jahre erstrecken. Diese Stabilität ist besonders für kritische Prozesse, die entweder eine hohe wirtschaftliche Bedeutung haben, oder die Sicherheit von Menschen gewährleisten, relevant (vgl. [35]).

Außerdem wird bei einem solchen Betriebssystem darauf geachtet die Iterationen einer Schleife so zu gestalten, dass die Fehler im Timing ( $\triangleq$  Jitter, siehe Abbildung 27) so gering wie möglich gehalten werden. Aus diesem Grund wird bei der Abarbeitung eines Tasks eine nahezu konstante Zeit bewerkstelligt. Um dies zu überwachen ist es in einem Echtzeitbetriebssystem mittels einem sogenannten „Watchdog“ möglich zu kontrollieren, ob eine Schleife ihr Timing verpasst hat. Diese Funktion kann bei zu

hohen zeitlichen Abweichungen oder einem Programmabsturz das System neustarten (vgl. [36]).

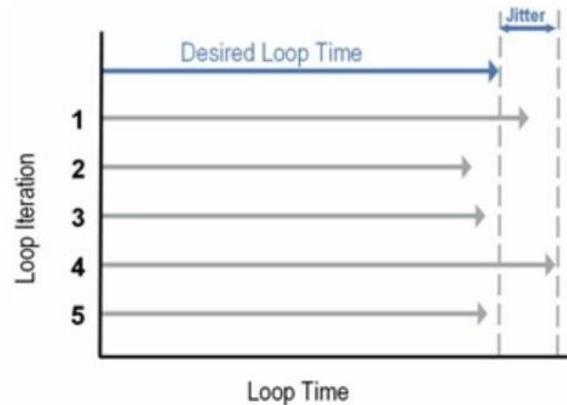


Abbildung 27: Fehler im Timing: Jitter einer Schleifen-Iteration [36]

Die Entwicklungstools beinhalten einen Compiler, einen Linker und ein Fehlersuchwerkzeug, welche einen für die Echtzeitbetriebssysteme geeigneten Code erstellen. Gesonderte Treiber werden ebenfalls benötigt und bereitgestellt, die das Echtzeitsystem mit der dazugehörigen Hardware und den I/O-Devices kommunizieren lässt.

Das Hardware-Angebot von NI beinhaltet zuzüglich der Software einige vorgefertigte Plattformen. Es werden fertigestellte Industrie-Controller als stand-alone oder computerbasierte Messgeräte und Messsysteme angeboten, welche mittels LabVIEW auf einem RTLinux OS ausgestattet sind. Diese Systementwicklungsoftware ermöglicht in einer grafischen Umgebung (durch Drag-and-Drop) Tasks zu programmieren, welche im Gegensatz zur sequenziellen Programmierung, auch parallel entwickelt werden können. Zusätzlich werden hunderte vorgefertigte Bibliotheken angeboten, welche auch neben der grafischen Programmierung durch textbasierte Programmierung eingebunden werden können. Dieses Gesamtpaket beinhaltet eine Debugger, Compiler und somit kann Code direkt aus dem Programm bereitgestellt werden.

Als Beispiel stellt solch ein Messsystem der CompactRIO dar, dieser ist für das Messen, Überwachen und Steuern geeignet. Er beinhaltet einen Controller, diverse Ein- und Ausgabe-Module, ein RTLinux OS und ist mit einem FPGA ausgestattet.

Ein Field-Programmable-Gate-Array (FPGA) ist ein integrierter Schaltkreis, welcher im Gegensatz zu einem gewöhnlichen Application-Specific-Integrated-Circuit (ASIC), öfter umprogrammiert werden kann. Er besteht aus einer Matrix mit rekonfigurierbaren Logik-Gattern, die mit hardwarenaher Sprache programmiert werden.

Die Vorteile gegenüber einer gewöhnlichen Central-Processing-Unit (CPU) sind, dass FPGA's Algorithmen in die Hardware implementieren können und direkte physische

Verbindungen zwischen Ein- und Ausgängen ermöglichen. Dies fördert nicht nur die Ausfallsicherheit, sondern ermöglicht auch präzisere Timings und schnellere Synchronisationen und Entscheidungsfindung. Der CompactRIO lässt sich mit weiteren Produkten modular ausbauen welche mittels Ethernet kommunizieren können und bietet damit eine hohe Flexibilität im industriellen Einsatz. Mit diesen verbauten Systemen können Latenzen im Millisekunden bis hin zu Microsekunden-Bereich erzielt werden und eignen sich somit gut für einen Digitalen Zwilling (vgl. [37], [38]).

### 6.1.3 Edge Computing – Industrial Edge von Siemens

Die industrielle Automatisierung kann anhand der Automatisierungspyramide nach dem International-Society-of-Automation-Standard 95 (ISA-95) in fünf Ebenen unterteilt werden (siehe Abbildung 28). Die ersten drei Ebenen: Feldebene, Steuerungsebene und SCADA/HMI sind zuständig für die Steuerung und Überwachung von industriellen Prozessen. Grundsätzlich werden in diesem Abschnitt hohe Ansprüche an die Echtzeit gestellt, mit Latenzen im Millisekundenbereich. Die zwei darüberliegenden Ebenen: Manufacturing-Execution-System (MES) und Enterprise-Resource-Planning (ERP) sind für Produktionsdatenerfassung, Qualitätsmanagement, Produktionsplanung und Bestellabwicklung verantwortlich. Hier werden die aus der SCADA Ebene erhaltenen Daten verarbeitet und haben keine höheren Echtzeitanforderungen.

Das Konzept des industriellen Edge Computing wirkt der konservativen hierarchischen Automatisierungspyramide entgegen, indem durch einen dezentralen Ansatz die Kommunikation zwischen den verschiedenen Ebenen flexibler gestaltet wird. Die Berechnungen der Prozessdaten und die Datenverarbeitung wird dezentralisiert und auf den Rand des Netzwerkes verlagert. Weiters liegt der Fokus auf der Datenoptimierung und die Realisierung von Echtzeit-Anwendungen in Form von intelligenten Applikationen. Ermöglicht und eingesetzt wird dies durch die Edge-Computing-Nodes (ECN's), welche die Schnittstelle zwischen der realen und digitalen Welt bilden.

Das Edge Computing bietet somit intelligente Dienste in der Feldebene für eine maschinennahe Datenanalyse mit optimierter Nutzung von Kommunikations-, Rechen-, und Speicherressourcen an. Eine große Herausforderung ist die Interoperabilität und Konnektivität über die Feldebene hinaus. Dies ist bedingt durch die große Anzahl an Feldbusverbindungen mit ihren verschiedenen Kommunikationsprotokollen und diversen Technologien mit etlichen Schnittstellen. Um diese reibungsfreie Kommunikation zu ermöglichen, werden Hybridlösungen erarbeitet welche ein Zusammenspiel des Edge Computing mit dem Cloud Computing gewährleisten. Wie in der Abbildung 28 ersichtlich können die unzeitgemäßen fünf Ebenen bezogen auf ihre Echtzeitanforderungen in zwei Gruppen zusammengefasst werden.

Umfangreiche Datensätze und niedrige Anforderungen an die Echtzeit zeichnen die Ebenen 3 – 4 aus, diese sind dadurch gut für das Cloud Computing geeignet. Die restlichen Ebenen 0 – 2 werden durch die strikteren Echtzeitbeschränkungen nicht oder nur teilweise in die Cloud verlagert, stattdessen können diese am Rande des Netzwerkes vor Ort mit Edge Computing verarbeitet werden (vgl. [39]).

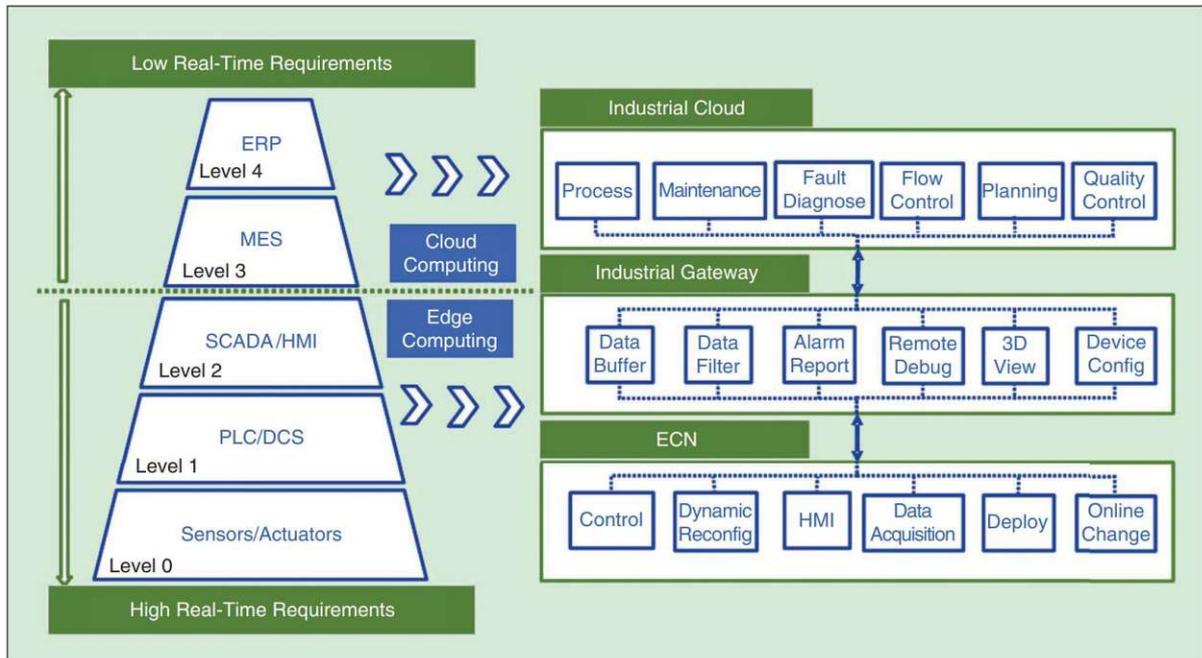


Abbildung 28: ISA-95 Pyramide aufgeteilt in Industrial Cloud und Industrial Edge [39]

### Industrial Edge von Siemens

Für das industrielle Edge Computing fiel die Entscheidung auf das Angebot der Siemens AG, da die derzeitig verbauten Automatisierungskomponenten beider betrachteter Extrusionslinien zum größten Teil mit Siemensprodukten ausgestattet sind. Dementsprechend müsste nicht die gesamte Automatisierungshardware ersetzt werden, es gilt lediglich zu überprüfen ob die derzeitigen Komponenten mit der Edge-Technologie zur Gänze kompatibel sind. Falls dies zutrifft, kann eine modular ausbaubare, intelligente und vernetzte maschinennahe Datenanalyse und Datenbereitstellung bewerkstelligt werden.

Nach dem derzeitigen Stand sind beide betrachteten Anlagen nur bedingt skalierbar und erfordern spezifische Pflege und Wartung der einzelnen verbauten und installierten Komponenten, was durch die unterschiedliche verwendete Hardware von diversen Herstellern und der systemspezifischen Software bedingt ist, welche nur auf die jeweilige Anlage zugeschnitten ist. Dies sind unter anderem die Hauptgründe weswegen eine Datenanalyse von automatisierten Anlagen bis heute aufwendig und umständlich sein kann.

Industrial Edge von Siemens versucht mit einer Edge-Infrastruktur, ausgestattet mit einem zentralen Management mit integrierter Ablaufumgebung und Cloudanbindung, dem entgegen zu wirken. Die Hybridlösung zwischen Edge- und Cloud-Computing bringt die Informationstechnik in die Feldebene. Sie erweitert die Automatisierung um Hochsprachen und ermöglicht durch die Docker Container-Technologie eine universelle Entwicklung, Bereitstellung und Anwendung von diversen Apps und Programmen über mehrere Betriebssysteme. Durch die virtuellen Container wird eine isolierte Umgebung für Anwendungen geschaffen, welche alle notwendigen Pakete für eine eigenständige Funktionalität enthält und den Datenfluss dadurch deutlich erleichtert. Mittels Docker-Technologie wird die Kompatibilität der benötigten Software für diversesten Anlagen, Maschinen und Betriebssysteme ermöglicht. Weiters wird der Datenfluss durch die Cloudanbindung erweitert und ermöglicht Analysen und Datenverarbeitungen aus der Ferne. Daten können nicht nur ausgelesen werden, das zentrale Managementsystem ermöglicht zusätzlich die Bereitstellung von Anlagensoftware für Wartungen und Services. Dies gilt auch für Hardwarekomponenten und Verschleißteile, da Zulieferanten automatisch über die Cloud informiert werden können, falls erneuter Bedarf bei gewissen Komponenten besteht. Der Wartungsaufwand kann durch die einheitliche zentrale Steuerung damit deutlich gesenkt werden. Neben einem bereits existierenden App-Store für diverse Applikationen und Tools können zuzüglich eigenständige angepasste Anwendungen programmiert und eingespielt werden. Die Anwendungen können dann direkt an die Automatisierungseinheit weitergeleitet und in Betrieb genommen werden. Dank der Integration von Hochsprachen in die Feldebene können mit Edge-Modulen die Sensordaten während der Produktion direkt ausgewertet werden. Vorverarbeitete Daten aus der Feldebene können für schnellere Entscheidungsfindung direkt an die Unternehmensebene weitergeleitet werden. Dadurch wird der klassische hierarchische Informationsfluss über mehrere Schnittstellen überbrückt und der Informationsaustausch wird deutlich agiler. Solche Konzepte ermöglichen eine nahezu latenzfreie Datenbereitstellung von virtuellen Abbildern und Digitalen-Zwillingen (vgl. [40], [41], [42]).

In Abbildung 29 ist eine exemplarische Topologie der Edge-Infrastruktur aufgezeigt. Mittels getunnelter Verbindung können über das zentrale Industrial Edge Management Applikationen, Software und Daten der verschiedensten Anlagen bzw. speicherprogrammierbare Steuerungen verwaltet werden. Anschließend können mittels Message-Queuing-Telemetry-Transport (MQTT) alle gesammelten Daten ausgewertet in die Cloud für weitere Analysen geladen werden.

Solch ein Gesamtsystem würde keinen eigenständig implementierten Datenlogger mehr benötigen und wäre in der Lage trotzdem einen Digitalen Zwilling mit echtzeitfähigen Daten zu versorgen. Durch die flexible Einrichtung von diversen Edge Apps, könnte damit eine Umgebung für ein virtuelles Abbild errichtet werden. Hier stellt

sich die Frage, ob ein Unternehmen die vielen sensible Prozessdaten in einer vom Anbieter bereitgestellten Cloud, oder nur lokal verarbeiten möchte. Laut Siemens ist der Cloudanteil bei dieser Hybridlösung frei wählbar, aber um die vollständige Funktionalität dieses Konzeptes auszuüben, wird ein gewisser Cloudanteil benötigt.

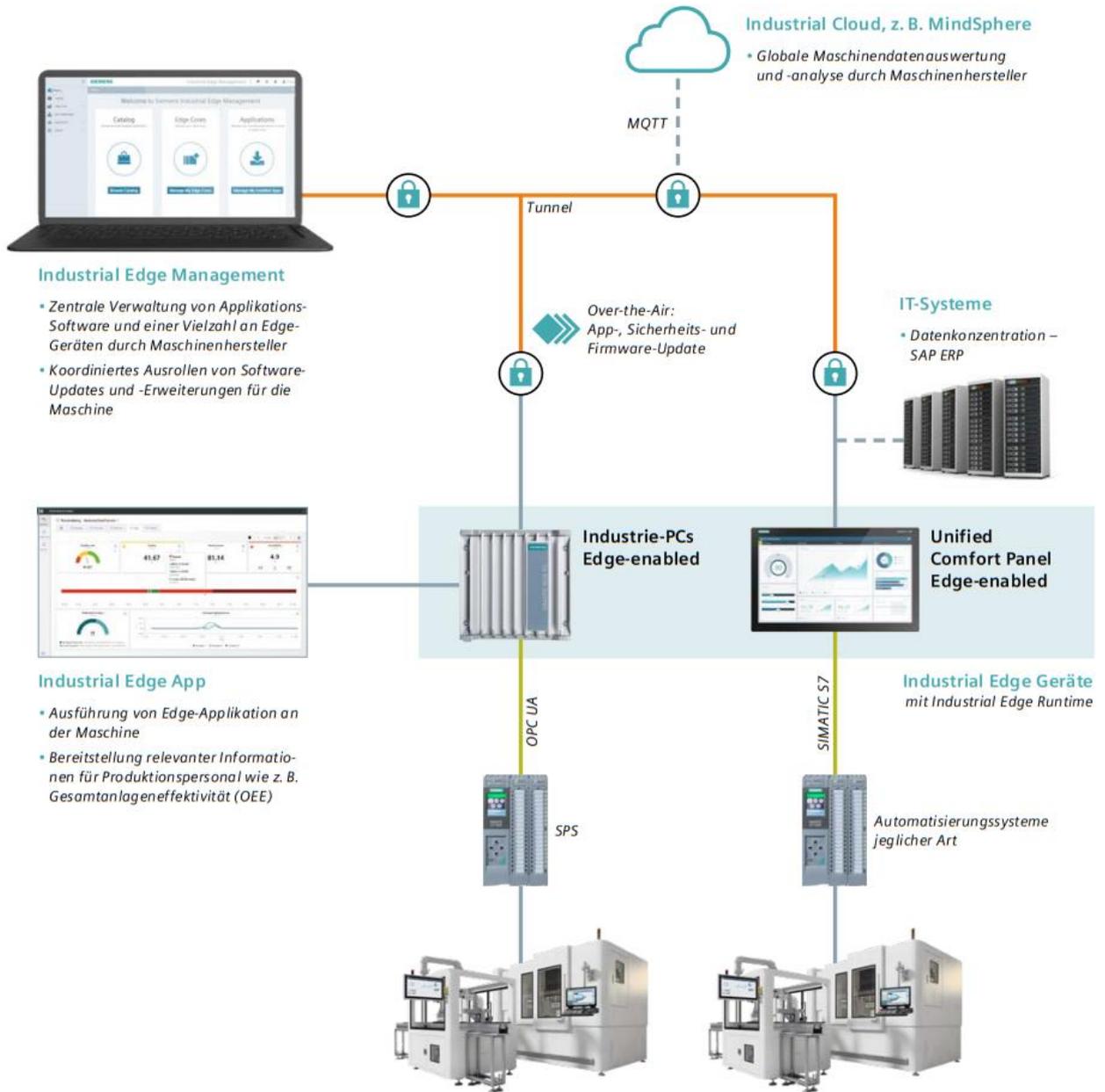


Abbildung 29: Beispielhafte Topologie einer möglichen Edge-Infrastruktur mit einem zentralen Managementsystem und Edge-Applikationen direkt an der Maschine [41], [42]

## 7 Ergebnisse / Auswertung

Die erste Hauptaufgabe dieser Diplomarbeit beschäftigte sich mit der Datenidentifikation zweier ausgewählter Produktionslinien. Hierfür wurde eine Excel-Liste erstellt, welche alle notwendigen Prozess- und Maschineneinstelldaten dieser Extrusionslinien beinhaltet. Diese Listen bestehen aus der ursprünglichen Wertebezeichnung, ihrer Übersetzung, der dazugehörigen Einheit, gegebenenfalls wichtigen Bemerkungen und einem Beispielauszug aus den Datensätzen. Zusätzlich wurden Werte außerhalb der Systemgrenze mitdokumentiert und übersetzt. Maschinenwerte, die in diesem Projektrahmen nicht geklärt werden konnten, wurden hervorgehoben und mit den bisherigen gesammelten Notizen für weitere Forschungsarbeiten übergeben.

Diese fertiggestellten Tabellen dienen nicht nur als Informationsgrundlage für weitere Projekte in diesem Bereich, sondern helfen bei der Identifikation der Schlüsselparame-ter. Durch einen Abgleich der gesammelten Erkenntnisse mit den vordefinierten KPP's wurde sichergestellt, ob all diese maßgeblichen Parameter bereits aufgezeichnet werden. Für die fehlenden KPP's wurden Vorschläge zu einer möglichen elektronische Erfassung geliefert.

Im Anschluss wurde der Datenfluss der einzelnen Datenframes vom Ursprungsort am Sensor bis hin zur Datenbankeinspeisung betrachtet. Die Erkenntnisse wurden in grafischer Form anhand eines Flussdiagramms an das Unternehmen übergeben. Mittels dieser Dokumentation kommen alle möglichen Schnittstellen zum Vorschein, an welchen eine Datenbereitstellung für ein virtuelles Abbild ermöglicht werden kann.

Abschließend wurden mehrere Konzepte der Datenerfassung und -sicherung an industriellen Produktionsanlagen anhand verschiedener Ansätze präsentiert. Dabei wurde darauf geachtet die Datenbereitstellung für virtuelle Abbilder aus den verschiedenen Ebenen der Automatisierungspyramide zu berücksichtigen. Der Grund dafür ist, dass die genauen Datenanforderungen an solch einen Digitalen-Zwilling noch nicht zur Gänze geklärt worden sind.

Im Ausblick wird eine mögliche Herangehensweise für die Bestimmung der unbekannt-ten Datenanforderungen aufgezählt.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Die in dieser Arbeit durchgeführte Datenanalyse der vorgeschriebenen Extrusionslinien bildet die zweite Grundlage für die Digitalisierung dieser industriellen Produktionsanlagen. Anhand der gesammelten Erkenntnisse sind alle aufgezeichneten Rohdaten der beiden Produktionslinien erfasst und aufgeschlüsselt worden. Zusätzlich konnte eine erste Bilanz der Vollständigkeit der vordefinierten Key-Process-Parameter erstellt werden. Mit diesem durchgeführten Abgleich ist es nun möglich die fehlenden Schlüsselparameter zu identifizieren und nachträglich zu implementieren. Weiters können durch den erstellten CSV-to-SQL-Parser nun für beide Anlagen datenbanktechnische Operationen durchgeführt werden. Wobei die Verknüpfung von Freigabedaten der Mischungen mit dem Produktionsdaten der Anlagen eine wesentliche Rolle spielen wird. Diese Kombination ermöglicht die Grundlage für die ersten strömungsmechanischen numerischen Simulationen dieser Extrusionsprozesse. Der beispielhafte visualisierte Datenfluss von beiden Extrusionslinien bietet einen ersten Einblick in die verschiedensten Schnittstellen der gesamten Automatisierungskette. Anhand der zu klärenden Datenanforderungen kann nach Bekanntgabe, eine passende Schnittstelle für die Datenbereitstellung ausgesucht werden. Mit der Präsentation der verschiedenen Methoden der Datenerfassung und -sicherung aus den unterschiedlichen Ebenen wird eine breitgefächerte Informationsgrundlage für die passende Datenversorgung vorgestellt.

In den nächsten Schritten gilt es für die fehlenden Prozessparameter die Datensicherung zu vervollständigen, da beide Extrusionslinien noch im elektronischen Aufzeichnungssystem kleine Lücken beinhalten. Ohne eine vollständige Datenbereitstellung ist die Erstellung eines Digitalen Zwillings nicht möglich. Bei beiden Linien wurden z.B. die Mitarbeiterkorrekturwerte noch nicht in Betracht gezogen. Dem Maschinenführer wird in gewissen Toleranzfeldern die Freiheit gegeben auf den Produktionsprozess Einfluss zu nehmen, wobei die veränderten Parameter nur händisch mitnotiert werden. Für eine vollautomatische Regelung müssten diese Werte direkt in die Datenaufzeichnung miteinfließen.

Für die Extrusionslinie 2 gilt es in erster Hinsicht die derzeitige Produktionsdatensicherung umzustellen. Der SQL-Parser ermöglicht zwar eine Weiterleitung der CSV-Dateien in eine SQL-Datenbank, diese ist aber nur geblockt möglich. Für die kommenden Forschungsarbeiten und die Verknüpfung von Freigabedaten der Mischungen mit den Prozessdaten ist dies ausreichend. Eine vollständige echtzeitfähige Simulation ist aber durch die fehlende kontinuierliche Datenbereitstellung nicht möglich. Zusätzlich sollten die im Kapitel 4 vorgestellten Mängel evaluiert und gegebenenfalls beseitigt werden.

Für die Bestimmung der ungeklärten Datenanforderung können folgende Schritte durchgeführt werden:

**1. Digitales Modell vom betrachteten Extruder mit seinen Abmaßen erstellen:**

Durch die Modellierung wird ersichtlich ob die vordefinierten Schlüsselparameter mit dem derzeitigen elektronischen Aufzeichnungssystem für ein vollständiges virtuelles Abbild genügen. Anschließend können durch die Verknüpfung der Freigabedaten der Mischungen mit den Prozessdaten, erste geblockte Simulationen durchgeführt werden. Durch die ersten Simulationen des Materialverhaltens können anschließend Aussagen zum digitalen Modell getroffen werden. Falls diese Ergebnisse nicht den Erwartungen entsprechen, kann das Modell in diesem Schritt mit weiteren Parametern durch zusätzliche Sensorik verbessert werden. Sind die ersten statischen Ergebnisse zufriedenstellend, kann das Modell im nächsten Schritt erweitert werden.

**2. Digitales Modell zu einem digitalen Schatten aufwerten**

Falls die blockweise erzielten Simulationsergebnisse den Erwartungen entsprechen, kann die Dateneinspeisung des virtuellen Abbilds durch kontinuierliche Datenversorgung erweitert werden. In diesem Abschnitt der kontinuierlichen Dateneinspeisung können Simulationen über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden. Durch Variationen von Abstraten der Sensorik können die Gesamtlatenzen und maximalen Netzlasten des Systems zum Vorschein kommen. Hier wird erst ersichtlich in welchen zeitlichen Abständen das virtuelle Abbild mit Daten versorgt werden muss, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Zeitgleich kann die Stabilität der Simulation dieses Systems mit der derzeitigen Hardware begutachtet werden. Falls bestimmte Sensoren den gewünschten Abstraten nicht standhalten, können sie in diesem Schritt ersetzt werden. Weiters können die Grenzen des gesamten Kommunikationssystems der Anlage ausgereizt werden. Hierfür ist darauf zu achten den Datenfluss so zu gestalten, dass die laufende Produktion dabei nicht beeinträchtigt wird. Erst nach diesen Untersuchungen ist es möglich den digitalen Schatten zu einem Digitalen-Zwilling zu erweitern.

**3. Rechenzentrum für einen Digitalen-Zwilling erstellen**

In diesem Schritt sind die meisten Datenanforderungen an das virtuelle Abbild bereits geklärt. Somit kann entschieden werden auf welche Weise die Parameter in das System eingespielt werden sollen. Abhängig ist dies vom benötigten Bereitstellungsintervall der einzelne Größen. Mit der Erstellung eines parallelen Rechenzentrums kann durch sorgfältiges Priorisieren der benötigten Anwendungen und Tasks das System feinjustiert werden. Weiters ist hier zu klären, wie das virtuelle Abbild mit dem Physischen kommunizieren wird.

## Literaturverzeichnis

- [1] A. Whelan and D. J. Dunning, Eds., *Developments in Plastics Technology—1*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1982.
- [2] E. Westkämper and H.-J. Warnecke, *Einführung in die Fertigungstechnik*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2010.
- [3] C. G. Tadmor, Zehev, Gogos, *Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften*, 2nd Editio. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [4] P. E. Peter Eyerer, Thomas Hirth, *Polymer Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [5] F. Röthemeyer and F. Sommer, *Kautschuk Technologie*, 3. Auflage. Hanser Verlag, 2013.
- [6] C. Wrana, *Polymerphysik*, 1 Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.
- [7] C. Rauwendaal, *Polymer Extrusion*, vol. 65, no. 12. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014.
- [8] H. Jarosch, *Grundkurs Datenbankentwurf*. 2010.
- [9] A. E. Alfons Kemper, *Datenbanksysteme*, 7. Auflage. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2009.
- [10] E. Schicker, *Datenbanken und SQL*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017.
- [11] R. Gabriel and H.-P. Röhrs, *Gestaltung und Einsatz von Datenbanksystemen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2003.
- [12] F. Tao, M. Zhang, and A. Y. C. Nee, “Digital Twin, Cyber–Physical System, and Internet of Things,” in *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*, Elsevier, 2019, pp. 243–256.
- [13] E. H. Glaessgen, D. T. Branch, D. S. Stargel, and M. Sciences, “The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U . S . Air Force Vehicles,” no. April, 2012.
- [14] F. A. L. Tao, *Digital Twin Driven Smart Design*. Elsevier Inc., 2020.
- [15] W. Kritzinger, M. Karner, G. Traar, J. Henjes, and W. Sihm, “Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 1016–1022, 2018.
- [16] “Digital model, digital shadow, or digital twin – what is at the core of data-driven shipbuilding? / Blog / CADMATIC.” [Online]. Available: <https://www.cadmatic.com/en/resources/blog/digital-model,-digital-shadow,-or-digital-twin---what-is-at-the-core-of-data-driven-shipbuilding/>. [Accessed: 14-Jul-2021].
- [17] F. Tao, Q. Qi, L. Wang, and A. Y. C. Nee, “Digital Twins and Cyber–Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison,” *Engineering*, vol. 5, no. 4, pp. 653–661, Aug. 2019.
- [18] G. Steindl, M. Stagl, L. Kasper, W. Kastner, and R. Hofmann, “Generic Digital Twin Architecture for Industrial Energy Systems,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 24, p. 8903, Dec. 2020.
- [19] “Digitaler Zwilling - Voraussetzungen und Möglichkeiten.” [Online]. Available:

- <https://www.technik-und-wissen.ch/digitaler-zwilling-voraussetzung-und-moeglichkeiten.html>. [Accessed: 27-Jul-2021].
- [20] “Welche Kriterien müssen Industrie-4.0-Produkte erfüllen?,” *Zentralverband Elektrotechnik- und Elektron.*, 2016.
- [21] “Kommunikation im Industrie-4.0-Umfeld,” *ZVEI Die Elektroind.*, 2020.
- [22] M. Grieves, “Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication,” 2015.
- [23] F. Tao, M. Zhang, and A. Y. C. Nee, “Five-Dimension Digital Twin Modeling and Its Key Technologies,” *Digit. Twin Driven Smart Manuf.*, pp. 63–81, 2019.
- [24] M. Hankel and Bosch Rexroth, “Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0),” *ZVEI Die Elektroind.*, vol. 0, no. April, p. 2, 2015.
- [25] D. M. Hoffmeister, “Industrie 4.0: Die Industrie 4.0-Komponente,” no. April, 2015.
- [26] “WHO/Europa | Ausbruch der Coronavirus-Krankheit (COVID-19) - Das Virus.” [Online]. Available: <https://www.euro.who.int/de/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/novel-coronavirus-2019-ncov>. [Accessed: 08-Jul-2021].
- [27] P. Frenzel, “Wissensbasis eines Extrusionsprozesses für einen Digital Twin,” Technische Universität Wien, 2021.
- [28] R. Parthier, “Sensoren,” in *Messtechnik*, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, pp. 125–172.
- [29] “ACCON-EasyLog - der schnelle und einfache Datenlogger! | DELTA LOGIC - A Rainer Hönle Company.” [Online]. Available: <https://www.deltalogic.de/produkte/software/accon-easylog>. [Accessed: 25-May-2021].
- [30] “SQL4automation - SPS - Robotersteuerung - SPS S7 | SQL4Automation.” [Online]. Available: <https://www.sql4automation.com/de/home/index.php>. [Accessed: 25-May-2021].
- [31] “ACCON-AGLink: Effiziente Kommunikation zwischen PC, SPS und Werkzeugmaschine | DELTA LOGIC - A Rainer Hönle Company.” [Online]. Available: <https://www.deltalogic.de/produkte/software/accon-aglink>. [Accessed: 25-May-2021].
- [32] “Snap7 - Siemens communications overview.” [Online]. Available: <http://snap7.sourceforge.net/>. [Accessed: 25-May-2021].
- [33] “Was ist MTConnect?” [Online]. Available: <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-mtconnect-a-862329/>. [Accessed: 26-May-2021].
- [34] H. Kopetz, *Real-Time Systems*. Boston, MA: Springer US, 2011.
- [35] “Wann empfiehlt sich ein Echtzeitsystem? - NI.” [Online]. Available: <https://www.ni.com/content/ni/locales/de-at/innovations/white-papers/12/do-i-need-a-real-time-system-.html#section-469616668>. [Accessed: 31-May-2021].
- [36] B. Windows *et al.*, “Was versteht man unter einem Echtzeitbetriebssystem?,” pp. 1–3, 2014.
- [37] T. Lin, Y. Xie, and J. Tang, “Design of CompactRIO-based acquisition system,” *2010 2nd Conf. Environ. Sci. Inf. Appl. Technol. ESIAT 2010*, vol. 1, pp. 678–

- 681, 2010.
- [38] “CompactRIO-Systeme - NI.” [Online]. Available: <https://www.ni.com/de-at/shop/compactrio.html>. [Accessed: 02-Jun-2021].
- [39] W. Dai, H. Nishi, V. Vyatkin, V. Huang, Y. Shi, and X. Guan, “Industrial Edge Computing: Enabling Embedded Intelligence,” *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 13, no. 4, pp. 48–56, 2019.
- [40] “Industrial Edge | Themenfelder | Siemens Deutschland.” [Online]. Available: <https://new.siemens.com/de/de/produkte/automatisierung/themenfelder/industrial-edge.html>. [Accessed: 08-Jun-2021].
- [41] “Produktionsmaschinen | Industrial Edge | Siemens Deutschland.” [Online]. Available: <https://new.siemens.com/de/de/produkte/automatisierung/themenfelder/industrial-edge/produktionsmaschinen.html>. [Accessed: 08-Jun-2021].
- [42] “Industrial Edge für den Maschinen- und Anlagenbau - Flyer.” [Online]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:2eab740b-d330-4092-a151-6c5f24ae4b9a/difa-b10112-00flyerindustrial-edgeohnpreise-144.pdf>. [Accessed: 08-Jun-2021].

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau eines Schnecken-Extruders [2].....	3
Abbildung 2: Ein- und Ausgänge eines Extrusionsprozesses [1].....	4
Abbildung 3: Modellkörper für die rheologische Beschreibung der Viskoelastizität [5] 5	
Abbildung 4: Vierelement-Modellkörper; <b>A</b> Reihenschaltung von Maxwell- und Kelvin-Voigt-Körper; <b>B</b> Parallelschaltung von Maxwell-Flüssigkeit und Kelvin-Voigt-Körper [5]	
.....	6
Abbildung 5: Schneckenextruder mit Vakuumzone und Heizelementen im Zylinder [7]	
.....	9
Abbildung 6: Aufbau eines Datei-Anwendungssystems mit seinem individuellen Datensatz [8] .....	13
Abbildung 7: Aufbau eines Datenbank-Anwendungssystems mit einer zentralen Datenbasis [8] .....	14
Abbildung 8: Der Informationsfluss eines Digitalen Modells [16].....	21
Abbildung 9: Der Informationsfluss eines Digitalen Schattens [16] .....	21
Abbildung 10: Der Informationsfluss eines Digitalen Zwillings [16].....	22
Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der Entwicklung von der Informationstechnologie [17]	
.....	24
Abbildung 12: Beziehung zwischen der physischen und digitalen Welten. [17] .....	25
Abbildung 13: Die Herleitung der Kriterien für Industrie 4.0-Produkte [20].....	28
Abbildung 14: Das Konzept des fünf-dimensionalen DT [18] .....	30
Abbildung 15: RAMI 4.0 3D-Modell [24] .....	31
Abbildung 16: Vom Gegenstand zur Industrie 4.0-Komponente [25].....	33
Abbildung 17: Technische Zeichnung eines Schneckenextruder samt Querspritzkopf. a) Getriebe, b) Drucklager, c) Kupplungsglocke, d) Trichterstück (links davon der Trichter der Füttereinheit), e) Zylinder, f) Temperierbuchse, g) Schnecke, h) Querspritzkopf mit anschließender Werkzeugscheibe [5] .....	38
Abbildung 18: Datenfluss vom Sensor bis hin zur Visualisierung in der SCADA Ebene der Extrusionslinie 1 – Schlauchprofilextrusion .....	42
Abbildung 19: Datenfluss vom Sensor bis hin zur Visualisierung in der SCADA Ebene der Extrusionslinie 2 – Profilextrusion mit Co-Extruder .....	47
Abbildung 20: Programmablaufplan vom filepicker Modul.....	55
Abbildung 21: Programmablaufplan vom csv_reader und mapping Modul .....	56
Abbildung 22: Programmablaufplan vom sql_insterter Modul .....	58
Abbildung 23: Programmablaufplan vom Hauptprogramm „main“.....	60
Abbildung 24: Derzeitiger Datenfluss der Extrusionslinie 2 – Profilextrusion mit Co-Extruder (links) mit zwei Lösungsvorschlägen für ein echtzeitfähiges System.....	65
Abbildung 25: Eigenschaften von ACCON-AG Link anhand von Siemensprodukten [31].....	70

---

<i>Abbildung 26: Beispielverbindung anhand von SNAP7. Clients links, Server rechts [32]</i>	
.....	71
<i>Abbildung 27: Fehler im Timing: Jitter einer Schleifen-Iteration [36]</i>	73
<i>Abbildung 28: ISA-95 Pyramide aufgeteilt in Industrial Cloud und Industrial Edge [39]</i>	
.....	75
<i>Abbildung 29: Beispielhafte Topologie einer möglichen Edge-Infrastruktur mit einem zentralen Managementsystem und Edge-Applikationen direkt an der Maschine [41], [42]</i>	
.....	77